

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. September 2003 (18.09.2003)

PCT

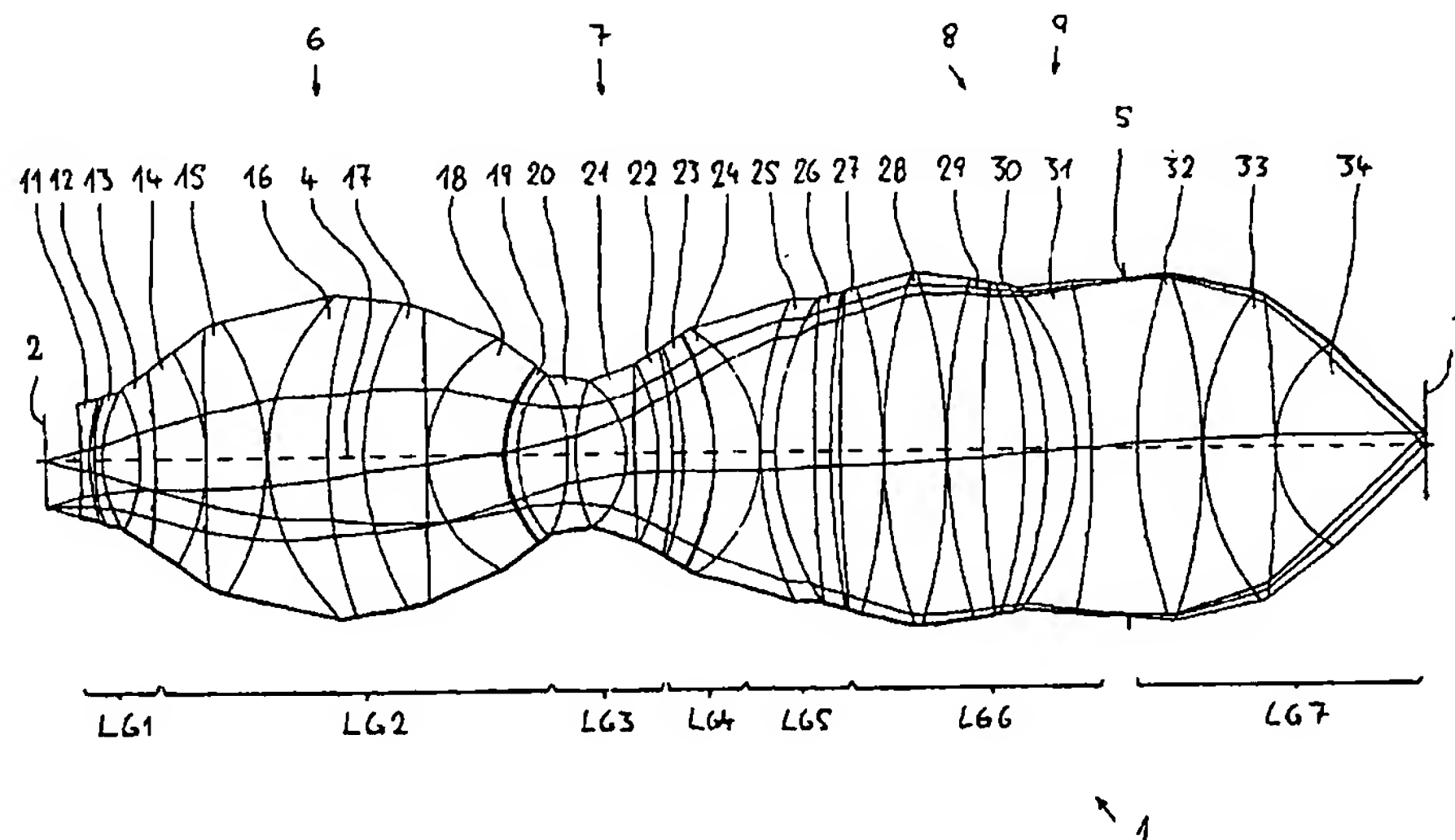
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/077036 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G03F 7/20**
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP02/04846**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
3. Mai 2002 (03.05.2002)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 10 899.4 8. März 2002 (08.03.2002) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **CARL ZEISS SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGIES AG [DE/DE];** Carl-Zeiss-  
Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHUSTER, Karl-Heinz [DE/DE];** Rechbergweg 24, 89551 Königs-  
bronn (DE).
- (74) Anwalt: **MUSCHIK, Thomas;** Ruff, Wilhelm, Beier,  
Dauster & Partner, Kronenstrasse 30, 70174 Stuttgart  
(DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): **AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **HIGH-APERTURE PROJECTION LENS**

(54) Bezeichnung: **PROJEKTIONSOBJEKTIV HÖCHSTER APERTUR**



(57) Abstract: The invention relates to a purely refractive high aperture projection lens comprising a plurality of optical elements and a system shutter (5) arranged at a distance from the image plane. The optical element nearest to the image plane (3) of the projection lens is a plane-convex lens (34) having an incident surface which is essentially spherical and an exit surface which is essentially even. The size of the diameter of the plane-convex lens is at least 50 % of the size of the shutter diameter of the system shutter (5). Preferably, only positive lenses (32, 33, 34) are arranged between the system shutter (5) and the image plane (3). Said optical system enables high-aperture imaging at  $NA \geq 0.85$ , optionally at  $NA \geq 1$ .

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/077036 A1



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

(57) Zusammenfassung: Ein höchstaperturiges, rein refraktives Projektionsobjektiv mit einer Vielzahl optischer Elemente hat eine mit Abstand vor der Bildebene angeordnete Systemblende (5). Das der Bildebene (3) des Projektionsobjektivs nächste optische Element ist eine Plankonvexlinse (34) mit einer im wesentlichen sphärischen Eintrittsfläche und einer im wesentlichen ebenen Austrittsfläche. Die Plankonvexlinse hat einen Durchmesser, der mindestens 50% des Blendendurchmessers der Systemblende (5) beträgt. Vorzugsweise sind zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) nur Positivlinsen (32, 33, 34) angeordnet. Das optische System erlaubt Abbildungen bei höchsten Aperturen  $NA \geq 0,85$ , gegebenenfalls bei  $NA \geq 1$ .

BeschreibungProjektionsobjektiv höchster Apertur

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in die Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht  
10 einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge.

Photolithographische Projektionsobjektive werden seit mehreren Jahrzehnten zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen verwendet. Sie dienen dazu, Muster von  
15 Photomasken oder Strichplatten, die nachfolgend auch als Masken oder Retikel bezeichnet werden, auf einen mit einer lichtempfindlichen Schicht beschichteten Gegenstand mit höchster Auflösung in verkleinerndem Maßstab zu projizieren.

20 Zur Erzeugung immer feinerer Strukturen in der Größenordnung 100nm oder darunter tragen vor allem drei parallel verlaufende Entwicklungen bei. Erstens wird versucht, die bildseitige numerische Apertur (NA) des Projektionsobjektivs über die derzeit erzielbare Werte hinaus in den Bereich von  $NA = 0,8$  oder darüber zu vergrößern. Zweitens werden  
25 immer kürzere Arbeitswellenlängen von Ultraviolettlicht verwendet, vorzugsweise Wellenlängen von weniger als 260nm, beispielsweise 248nm, 193nm, 157nm oder darunter. Schließlich werden noch andere Maßnahmen zur Auflösungsvergrößerung genutzt, beispielsweise phasenschiebende Masken und/oder schräge Beleuchtung.  
30 Insbesondere die Verwendung phasenschiebender Masken erfordert obskurationsfreie Systeme, d.h. Systeme ohne Abschattungen im Bildfeld. Systeme ohne Abschattungen im Bildfeld sind in der

- 2 -

Mikrolithographie generell zu bevorzugen, auch wenn Systeme mit Obskuration mit ansonsten hervorragenden optischen Eigenschaften verfügbar sind (z.B. DE 196 39 586 entsprechend US 6,169,627 B1).

- 5 Bei Erhöhung der Apertur deutlich über  $NA = 0,85$  werden Grenzen bei der Winkelbelastbarkeit vor allem der bildnahen Linsen erreicht. Größere Aperturen nahe  $NA = 1$  oder darüber werden als unpraktikabel angesehen, da davon ausgegangen werden muss, dass sich bei derart hohen Aperturen Rand- und Komastrahlen aufgrund von Totalreflexion  
10 weder aus einem Objektiv auskoppeln noch in die lichtempfindliche Schicht des Substrat einkoppeln lassen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Projektionsobjektiv zu schaffen, welches eine sehr hohe bildseitige numerische Apertur, ein für  
15 den praktischen Einsatz in Wafersteppern oder Waferscannern ausreichend großes Bildfeld sowie einen guten Korrektionszustand aufweist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Projektionsobjektiv mit den  
20 Merkmalen von Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung hat ein Projektionsobjektiv zur  
25 Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in die Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind, sowie eine mit Abstand vor der Bildebene angeordnete  
30 Systemblende mit einem Blendendurchmesser. Die der Bildebene nächste optische Gruppe mit Brechkraft ist eine Plankonvexgruppe mit einer im wesentlichen sphärischen Eintrittsfläche und einer im

- 3 -

wesentlichen ebenen Austrittsfläche. Die Austrittsfläche ist die letzte optische Fläche des Systems und soll in der Nähe eines zu belichtenden Substrates, jedoch ohne Berührungskontakt zu diesem, angeordnet werden. Gegebenenfalls kann über ein Immersionsmedium, z.B. eine  
5 Flüssigkeit, ein optischer Kontakt vermittelt werden. Die Plankonvexgruppe hat einen Durchmesser, der mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt. Vorzugsweise kann der Durchmesser der Plankonvexgruppe sogar mehr als 60% oder mehr als 70% des Blendendurchmessers betragen.

10

Die Systemblende im Sinne dieser Anmeldung ist der Bereich nahe der Bildebene, in dem der Hauptstrahl der Abbildung die optische Achse schneidet. Eine Blende zur Begrenzung und gegebenenfalls Verstellung der genutzten Apertur kann im Bereich der Systemblende angeordnet  
15 sein. Bei Systemen mit mindestens einem Zwischenbild existiert mindestens eine weitere Blendenebene mit größerem Abstand von der Bildebene.

Durch die oben genannten Maßnahmen ist es möglich, höchste  
20 bildseitige numerische Aperturen  $NA \geq 0,85$  zu realisieren, wobei die numerische Apertur sogar  $NA = 1$  oder mehr betragen kann, beispielsweise  $NA = 1,1$ . Damit sind bei konventionell gut beherrschbaren Arbeitswellenlängen, beispielsweise bei 193nm, Strukturbreiten in der Größenordnung von 50nm gut abzubilden. Hohe  
25 Aperturen, insbesondere im Bereich von  $NA = 1$  oder darüber, erfordern spezielle Maßnahmen, um die Flächenbelastung der optischen Flächen insgesamt und insbesondere die Flächenbelastung im Bereich zwischen der Systemblende und der Bildebene zu beherrschen. In diesem Bereich dürfen keine zu hohen bauteilbezogenen Aperturen entstehen, da bei  
30 sehr schrägem Lichteinfall ein Großteil des auftreffenden Lichtes nicht mehr durch die transparenten optischen Elemente gelangen und somit nicht mehr zur Bildentstehung beitragen kann. Wird als bildnächste

brechende Gruppe eine Plankonvexgruppe verwendet, die axial so dick ist, dass deren Durchmesser mehr als die Hälfte des Blendendurchmessers erreicht, so hat die stark gewölbte Eintrittsfläche im Vergleich zu herkömmlichen Linsen eine ungewöhnlich große  
5 Dimension. Bei hoher Öffnung der Linsenfläche ist ein langer Radius der Eintrittsfläche anzustreben, da damit die Feldbelastung abnimmt. Je länger der Radius der letzten Eintrittsfläche vor der Bildebene ist, desto kleiner ist das relative Feld und desto kleiner sind damit auch die induzierten Feldaberrationen. Damit wird es möglich, vor der  
10 Plankonvexlinse auf geeignete Weise erzeugte hohe Strahlaperturen aberrationsarm und bei vertretbaren Lichtverlusten bis zum Wirkort in der Bildebene zu übertragen.

Die Plankonvexgruppe wird bei einer bevorzugten Weiterbildung durch  
15 eine einzelne, einstückige Plankonvexlinse gebildet. Es ist auch möglich, die Plankonvexgruppe in Form einer geteilten Plankonvexlinse auszuführen, deren Teile bevorzugt aneinander angesprengt sind. Die Teilung kann entlang einer ebenen oder gekrümmten Teilungsfläche erfolgen. Eine Teilung ermöglicht es insbesondere, den bildfeldnahen  
20 Teil der Plankonvexgruppe, in welchem besonders hohe Strahlungsenergiedichten auftreten, aus einem besonders strahlungsresistenten Material herzustellen, beispielsweise als Kalziumfluorid, während weniger strahlungsbelastete Bereiche aus einem anderen Material, beispielsweise synthetischem Quarzglas,  
25 hergestellt sein können. Als bildnächstes Element der Plankonvexgruppe kann gegebenenfalls eine planparallele Abschlussplatte vorgesehen sein. Diese ist vorzugsweise an das vorhergehenden optische Element angesprengt. In engen Grenzen ist es auch möglich, die Plankonvexgruppe in gesonderte Linsenelemente  
30 aufzuspalten, zwischen denen mindestens bereichsweise ein geringer Luftabstand bestehen kann, der jedoch deutlich unterhalb eines Millimeters liegen sollte. Die Ränder zum Luftspalt sollten so gekrümmt



- 5 -

sein, dass keine Totalreflexion stattfindet. Vorzugsweise bleibt die Winkelbelastung dabei je nach Winkelbelastbarkeit der dünnen Entspiegelungsschicht kleiner als  $\sin u'$  von 0,85 bis 0,95.

- 5 Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist es besonders günstig, wenn zwischen der Systemblende und der Bildebene nur Linsen mit positiver Brechkraft angeordnet sind, gegebenenfalls zuzüglich einer oder mehrerer planparalleler, transparenter Platten. Beispielsweise kann zwischen der Systemblende und der Plankonvexgruppe mindestens  
10 eine bikonvexe Positivlinse angeordnet sein. Günstiger sind mindestens zwei, insbesondere genau zwei bikonvexe Positivlinsen. Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind einem plankonvexen Meniskus zwei Positivlinsen vorangestellt, die den wesentlichen Anteil der Systembrechkraft bereitstellen. Dadurch, dass diese dicht an der  
15 Systemblende sitzen und im großen Durchmesser arbeiten können, ist auch hier eine sehr kleine relative Feldbelastung erzielbar. Dies ergibt eine sehr einfache und effiziente Auslegung eines Projektionsobjektivs bezüglich des Bereichs hinter der Systemblende. Günstig ist es demnach, wenn die zwischen Systemblende und Bildebene  
20 angeordnete letzte Linsengruppe maximal vier brechkraftbehaftete optische Elemente aufweist, idealerweise nur drei Linsen, die vorzugsweise jeweils Positivlinsen sind. Linsen mit negativer Brechkraft können vorgesehen sein, solange deren Brechkraft gering gegenüber der Gesamtbrechkraft der zwischen Systemblende und Bildebene  
25 angeordneten Linsengruppe ist. Zusätzlich können planparallele Platten vorgesehen sein.

Eine für eine hohe bildseitige numerische Apertur günstige Brechkraftverteilung zeichnet sich dadurch aus, dass die zwischen  
30 Systemblende und Bildebene angeordnete letzte Linsengruppe vorteilhafterweise eine Brennweite hat, die weniger als 20% oder 17%, insbesondere weniger als 15% der Baulänge des Projektionsobjektivs

beträgt. Als Baulänge wird hier der axiale Abstand zwischen der Objektebene und der hierzu optisch konjugierten Bildebene bezeichnet. Der Abstand zwischen Systemblende und Bildebene beträgt vorzugsweise weniger als 25%, insbesondere weniger als 22% der Baulänge und/oder weniger als ca. 95%, 90% oder 86% des Blendendurchmessers. Insgesamt ist demnach eine sehr bildnahe Lage der Systemblende günstig. Dabei kann die Blende real oder gleichwertig der konjugierte Ort der realen Blende bei Vorhandensein eines Zwischenbildes sein.

10

Erfindungsgemäße Projektionsobjektive können katadioptrisch oder dioptrisch aufgebaut sein und sollen obskurationsfrei abbilden. Bevorzugt sind rein refraktive, also dioptrische Projektionsobjektive, bei denen alle mit Brechkraft behafteten optischen Komponenten aus transparentem Material bestehen. Bei einem Beispiel handelt es sich um ein Ein-Taillensystem mit einem objektnahen Bauch, einem bildnahen Bauch und einer dazwischenliegenden Taille, in deren Bereich der Strahlendurchmesser vorzugsweise weniger als ca. 50% des maximalen Strahldurchmessers im Bereich eines der Bäuche beträgt.

20

Die Systeme können so aufgebaut werden, dass alle transparenten optischen Elemente aus dem gleichen Material gefertigt sind. Bei einer für eine Arbeitswellenlänge von 193nm ausgelegten Ausführungsform wird für alle Linsen synthetisches Quarzglas verwendet. Auch Ausführungsformen für 157nm, bei denen alle Linsen aus Kalziumfluorid oder einem anderen Fluoridkristallmaterial bestehen, sind möglich. Auch Kombinationen mehrerer unterschiedlicher Materialien sind möglich, beispielsweise um die Korrektur von Farbfehlern zu erleichtern oder um Compaction zu verringern. Beispielsweise kann bei 193nm das synthetische Quarzglas durch ein Kristallmaterial, z.B. Kalziumfluorid ersetzt werden.

30



- 7 -

Im Rahmen der Erfindung sind höchstaperturige Projektionsobjektive, insbesondere auch rein refraktive Projektionsobjektive möglich, bei denen die bildseitige numerische Apertur  $NA \geq 0,85$  ist. Sie beträgt vorzugsweise mindestens 1 und hat bei einer später näher erläuterten

5 Ausführungsform einen Wert  $NA = 1,1$ . Trotz dieser hohen numerischen Aperturen ist eine Einkopplung von ausreichend Lichtenergie in das zu belichtende Substrat über einen gasgefüllten Spalt möglich, wenn ein ausreichend geringer bildseitiger Arbeitsabstand eingehalten wird. Dieser liegt bei bevorzugten Ausführungsformen unterhalb des

10 Vierfachen der verwendeten Arbeitswellenlänge, insbesondere unterhalb der Arbeitswellenlänge. Besonders günstig ist es, wenn der Arbeitsabstand weniger als die Hälfte der Arbeitswellenlänge beträgt, beispielsweise weniger als ein Drittel, ein Viertel oder ein Fünftel der Arbeitswellenlänge. Bei diesen kurzen Arbeitsabständen kann eine

15 Abbildung im optischen Nahfeld erfolgen, bei der evaneszente Felder, die in unmittelbarer Nähe der letzten optischen Fläche des Abbildungssystems existierten, zur Abbildung genutzt werden. Die Projektionsobjektive sind auch für die Immersionslithographie tauglich, bei der der Raum zwischen der Austrittsfläche des Objektivs und dem

20 Substrat mit einem Immersionsfluid mit geeigneter Brechzahl und ausreichender Transmission für die verwendete Wellenlänge ausgefüllt ist. Geeignete Immersionsflüssigkeiten können z.B. hauptsächlich die Elemente H, F, C oder S enthalten. Auch deionisiertes Wasser ist verwendbar.

25

Trotz dieser extremen Werte für numerische Apertur und Arbeitsabstand sind Dank der Erfindung Objektive mit einem sehr großen, für die praktische Lithographie ausreichenden Bildfelddurchmesser möglich, der bei bevorzugten Ausführungsformen größer als ca. 10mm,

30 insbesondere größere als ca. 20mm ist und/oder mehr als 1%, insbesondere mehr als 1,5% der Baulänge des Projektionsobjektivs

- 8 -

und/oder mehr als 1%, insbesondere mehr als 5% des größten Linsendurchmessers betragen kann.

Bevorzugte Projektionsobjektive zeichnen sich durch eine Anzahl  
5 günstiger konstruktiver und optischer Merkmale aus, die alleine oder in Kombination miteinander für die Eignung des Objektivs für die höchstauflösende Mikrolithographie, insbesondere im optischen Nahfeld und für die Immersionslithographie förderlich sind.

10 Im Bereich der Systemblende ist vorzugsweise mindestens eine asphärische Fläche angeordnet. Vorzugsweise kommen hinter den Blende dicht aufeinander folgend mehrere Flächen mit Asphären. Insbesondere kann zwischen Systemblende und Bildebene mindestens eine doppelasphärische Linse vorgesehen sein, die bevorzugt eine  
15 Bikonvexlinse ist. Somit kann auch im Bereich zwischen Taille und Bildebene, d.h. im letzten Bauch, mindestens eine doppelsphärische Bikonvexlinse günstig sein. Es kann weiter günstig sein, wenn die letzte optische Fläche vor der Systemblende und die erste optische Fläche nach der Systemblende asphärisch ist. Hier können insbesondere  
20 gegenüberliegende asphärische Flächen mit von der Blende wegweisender Krümmung vorgesehen sein. Die hohe Anzahl von asphärischen Flächen im Bereich der Systemblende ist günstig für die Korrektur der sphärischen Abberation und wirkt sich günstig auf die Einstellung der Isoplanasie aus.

25

Im Bereich unmittelbar vor der Systemblende ist vorzugsweise mindestens eine Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche vorgesehen. Bei höheren Aperturen können mindestens zwei solcher Menisken, die aufeinander folgen, günstig sein, welche positive oder  
30 negative Brechkraft haben können. Bei sehr hohen Öffnungswinkeln von  $NA \geq 1,0$  ist eine Zweiergruppe derartiger Menisken bevorzugt, bei der ein Meniskus mit negativer Brechkraft auf einen Meniskus mit positiver

Brechkraft folgt. Die negative Brechkraft ist vorzugsweise so groß, dass im Strahlbündel eine geringfügige Querschnittsverengung (Hilfstaille) auftreten kann.

- 5 Eine Meniskengruppe mit einem Positiv-Meniskus und einem dahinter liegenden Negativ-Meniskus, bei der die Krümmungsmittelpunkte aller optischen Flächen objektseitig bzw. retikelseitig liegen, kann auch unabhängig von den sonstigen Merkmalen der Erfindung bei anderen Projektionsobjektiven vorteilhaft sein, insbesondere direkt vor einer  
10 Blende im Bereich großer Strahldurchmesser, wobei die Blende eine physikalische Blende zur Bündelquerschnittsveränderung oder eine konjugierte Blende sein kann.

- Es hat sich weiterhin als vorteilhaft herausgestellt, wenn zwischen der  
15 Taille und der Systemblende mindestens eine Meniskuslinse mit negativer Brechkraft und bildwärts gerichteter Konkavfläche angeordnet ist. Besonders günstig sind häufig mindestens zwei aufeinander folgende, derartige Meniskuslinsen, deren Krümmungsmittelpunkte bildseitig liegen. Vorteilhaft ist es dabei, wenn die Brechkraft des ersten,  
20 objektseitigseitigen Meniskus um mindestens 30% stärker ist als diejenige des darauffolgenden, bildseitigen Meniskus der Meniskengruppe.

- Weiterhin kann es günstig sein, wenn zwischen der Taille und der  
25 Systemblende in der Nähe der Taille mindestens eine Positiv-Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche angeordnet ist. Auch hier können statt einer derartigen Meniskuslinse mehrere, beispielsweise zwei, aufeinanderfolgende Linsen dieses Typs vorgesehen sein.

- 30 Besonders vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen zwischen Taille und Systemblende in dieser Reihenfolge mindestens eine Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche und dahinter mindestens

eine Meniskuslinse mit bildseitiger Konkavfläche angeordnet ist. Vorzugsweise sind jeweils zwei aufeinanderfolgende Menisken der jeweiligen Krümmungen vorgesehen. Die der Taille zugewandten Meniskuslinsen haben vorzugsweise positive, die der Bildebene  
5 zugewandten Menisken vorzugsweise negative Brechkraft. Im Bereich zwischen diesen Linsen bzw. Linsengruppen findet somit ein Wechsel in der Lage der Krümmungsmittelpunkte von Menisken statt.

Im Bereich der Taille sind bevorzugt mehrere Negativlinsen aufeinander  
10 folgend angeordnet, bei bevorzugten Ausführungsformen sind es mindestens zwei, vorzugsweise drei Negativlinsen. Diese tragen die Hauptlast der Petzvalkorrektur.

Am objektseitigen Eingang des Systems beim Eintritt in den ersten  
15 Bauch sind wenigstens zwei Negativlinsen vorteilhaft, um das vom Objekt kommende Strahlbündel aufzuweiten. Drei oder mehr derartiger Negativlinsen sind bevorzugt. Bei hohen Eingangsaperturen von mehr als 0,2 ist es günstig, wenn auf mindestens einer der ersten Linsen mindestens eine asphärische Fläche vorgesehen ist. Vorzugsweise hat  
20 jede der eingangsseitigen Negativlinsen mindestens eine asphärische Fläche.

Hinter dieser Eingangsgruppe folgt bevorzugt eine Linsengruppe mit starker positiver Brechkraft, welche den ersten Bauch der Strahlführung  
25 darstellt. In dieser Gruppe kann im Bereich großer Strahlhöhen im Nahbereich der Objektebene mindestens eine Meniskuslinse mit positiver Brechkraft und bildseitigen Konkavflächen günstig sein. Bei einem derartigen Meniskus, dessen Krümmungsmittelpunkte bildseitig liegen, hat die zum Bild gewandte Austrittsseite bevorzugt eine relativ  
30 starke Krümmung, deren Radius beispielsweise kleiner als 50% der Baulänge des Projektionsobjektivs sein kann.

Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und der Zeichnung hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können.

Fig. 1 ist ein Linsenschnitt durch eine Ausführungsform eines refraktiven Projektionsobjektivs, das für 193nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist.

Bei der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform bezeichnet der Begriff „optische Achse“ eine gerade Linie durch die Krümmungsmittelpunkte der sphärischen optischen Komponenten bzw. durch die Symmetrieachsen von asphärischen Elementen. Richtungen und Abstände werden als bildseitig, waferseitig oder bildwärts beschrieben, wenn sie in Richtung der Bildebene bzw. des dort befindlichen, zu belichtenden Substrats gerichtet sind und als objektseitig, retikelseitig oder objektwärts, wenn sie in Bezug auf die optische Achse zum Objekt gerichtet sind. Das Objekt ist in den Beispielen eine Maske (Retikel) mit dem Muster einer integrierten Schaltung, es kann sich aber auch um ein anderes Muster, beispielsweise eines Gitters handeln. Das Bild wird in den Beispielen auf einem als Substrat dienenden, mit einer Photoresistschicht dienenden Wafer gebildet, jedoch sind auch andere Substrate möglich, beispielsweise Elemente für Flüssigkristallanzeigen oder Substrate für optische Gitter. Die angegebenen Brennweiten sind Brennweiten bezüglich Luft.

In Fig. 1 ist ein charakteristischer Aufbau eines erfindungsgemäßen, rein refraktiven Reduktionsobjektivs 1 gezeigt. Es dient dazu, ein in einer Objektebene 2 angeordnetes Muster eines Retikels oder dergleichen in



eine zur Objektebene konjugierte Bildebene 3 in reduziertem Maßstab ohne Obskurationen bzw. Abschattungen im Bildfeld abzubilden, beispielsweise im Maßstab 5 : 1. Es handelt sich um ein rotationssymmetrisches Ein-Taillensystem, dessen Linsen entlang einer senkrecht zur Objekt- und Bildebene stehenden optischen Achse 4 angeordnet sind und einen objektseitigen Bauch 6, einen bildseitigen Bauch 8 sowie eine dazwischenliegende Taille 7 bilden. Innerhalb des zweiten Bauches 8 ist eine kleine Hilfs-Taille 9 nahe vor der Systemblende 5 ausgebildet. Die Systemblende 5 liegt im bildnahen Bereich großer Strahldurchmesser.

Die Linsen können in mehrere aufeinanderfolgende Linsengruppen mit spezifischen Eigenschaften und Funktionen eingeteilt werden. Eine der Objektebene 2 folgende erste Linsengruppe LG1 am Eingang des Projektionsobjektivs hat insgesamt negative Brechkraft und dient der Aufweitung des vom Objektfeld kommenden Strahlbündels. Eine darauffolgende zweite Linsengruppe LG2 mit insgesamt positiver Brechkraft bildet den ersten Bauch 6 und führt den Strahl vor der nachfolgenden Taille 7 wieder zusammen. Im Bereich der Taille 7 befindet sich eine dritte Linsengruppe LG3 mit negativer Brechkraft. Dieser folgt eine aus Positiv-Meniskuslinsen bestehende Linsengruppe 4 mit positiver Brechkraft, der eine aus Negativ-Meniskuslinsen bestehende fünfte Linsengruppe LG5 mit negativer Brechkraft folgt. Die darauffolgende Linsengruppe LG6 mit positiver Brechkraft führt die Strahlung zur Systemblende 5. Hinter dieser liegt die siebte und letzte Linsengruppe LG7, die aus drei Einzellinsen mit positiver Brechkraft besteht und den Hauptbeitrag zur Erzeugung der sehr hohen bildseitigen numerischen Apertur von  $NA = 1,1$  leistet. Für diese gilt:  $NA = n \cdot \sin u'$ , wobei  $n$  die Brechzahl des letzten optischen Mediums (z.B. eines Immersionsfluids) und  $u'$  der halbe bildseitige Aperturwinkel ist.



Die erste Linsengruppe LG1 eröffnet mit drei Negativlinsen 11, 12, 13, die in dieser Reihenfolge eine bikonkave Negativlinse 11 mit asphärischer Eintrittsseite, eine Negativ-Meniskuslinse 12 mit bildseitigem Krümmungsmittelpunkt und asphärischer Eintrittsseite und  
5 eine Negativ-Meniskuslinse 13 mit objektseitigem Krümmungsmittelpunkt und asphärischer Austrittsseite umfasst. Bei der vorliegenden hohen Eingangsapertur von 0,2125 sollte auf wenigstens einer der ersten beiden Linsen 11, 12 mindestens eine asphärische Fläche vorgesehen sein, um die Erzeugung von Abberationen in diesem  
10 Bereich zu begrenzen. Vorzugsweise ist, wie im vorliegenden Beispiel, an jeder der drei Negativlinsen (mindestens) eine asphärische Fläche vorgesehen.

Die zweite Linsengruppe LG2 hat mit geringem Luftabstand hinter der  
15 letzten Linse 13 der ersten Linsengruppe LG1 eine Positiv-Meniskuslinse 14 mit objektseitigem Krümmungsmittelpunkt, eine weitere Positiv-Meniskuslinse 15 mit objektseitigem Krümmungsmittelpunkt, eine Positiv-Meniskuslinse 16 mit bildseitigem Krümmungsmittelpunkt, eine weitere Positivlinse 17 mit nahezu ebener  
20 Austrittsseite, eine Positiv-Meniskuslinse 18 mit bildseitigem Krümmungsmittelpunkt der Flächen sowie eine brechkraftarme Meniskuslinse 20 gleicher Krümmungsrichtung mit nahezu parallelen Linsenflächen. Die nur schwach gekrümmte Eintrittsseite der Linse 15, die ebenfalls nur schwach gekrümmte Austrittsseite der Linse 17 und die  
25 Austrittsseite der letzten Meniskuslinse 20 sind asphärisch. Diese zweite Linsengruppe LG2 stellt den ersten Bauch 6 des Objektivs dar. Eine Besonderheit bildet die beim größten Durchmesser angeordnete Positiv-Meniskuslinse 16, deren Krümmungsmittelpunkte bildseitig liegen. Der Radius der Austrittsfläche dieser Linse 16 hat einen Wert, der kleiner als  
30 die Hälfte des Objekt-Bildabstandes ist. Diese Linsengruppe dient vor allem der Petzvalkorrektur, der Verzeichnungs-Telezentriekorrektur und der Bildfeldkorrektur außerhalb der Hauptschnitte.

Die dritte Linsengruppe LG3 besteht aus drei Negativ-Meniskuslinsen 20, 21, 22, deren Grenzflächen jeweils sphärisch sind. Diese Linsengruppe trägt die Hauptlast der Korrektur der Bildfeldkrümmung und ist so gestaltet, dass trotz der hohen Systemapertur von  $NA = 1,1$  die maximalen Inzidenzwinkel der auf die Linsenflächen treffenden Strahlen unterhalb ca.  $60^\circ$  bzw. der Sinus der Inzidenzwinkel jeweils unterhalb 0,85 liegt. Die erste Negativlinse 20 der dritten Gruppe ist bevorzugt eine stark bikonkave Linse, so dass die Haupttaille 7 mit stark gekrümmten Flächen eröffnet.

Die der Taille 7 folgende vierte Linsengruppe LG4 besteht aus zwei Positiv-Meniskuslinsen 23, 24 mit bildseitigen Konkavflächen, wobei die Austrittsseite der eingangsseitigen Meniskuslinse 23 asphärisch, die übrigen Flächen sphärisch sind. Bei anderen Ausführungsformen kann an dieser Stelle auch nur einziger Positiv-Meniskus entsprechender Krümmung vorgesehen sein.

Die darauffolgende fünfte Linsengruppe LG5 hat ebenfalls zwei Meniskuslinsen 25, 26, jedoch haben diese jeweils negative Brechkraft und die konkaven Flächen sind zum Bildfeld 3 gerichtet. Gegebenenfalls kann an dieser Stelle auch nur ein negativer Meniskus vorgesehen sein, dessen Krümmungsmittelpunkt waferseitig liegt. Es hat sich als günstig herausgestellt, wenn die negative Brechkraft des objektseitigen, Negativ-Meniskus 25 mindestens 30% stärker ist als die des darauffolgenden Meniskus 26. Eine solche Gruppe mit mindestens einem negativen Meniskus ist für die Funktion des Ein-Taillensystems ein zentrales Korrektionselement, um elegant außeraxiale Bildfehler zu korrigieren. Insbesondere wird dadurch ein kompaktes Design mit relativ geringen Linsendurchmessern ermöglicht.

Besonders wichtig ist, dass in dem der Taille 7 folgenden Eingansbereich des zweiten Bauches 8 ein Wechsel in der Lage der Krümmungsmittelpunkte zwischen Menisken der vierten Linsengruppe LG4 und der fünften Linsengruppe LG5 stattfindet. Dadurch kann  
5 erreicht werden, dass schiefe sphärische Aberration bei extremer Apertur geglättet werden kann.

Die sechste Linsengruppe LG6 beginnt mit einer Abfolge von Positiv-Linsen 27, 28, 29, 30, wobei es sich als günstig herausgestellt hat, wenn  
10 mindestens zwei dieser Linsen Bikonvexlinsen sind, wie die am Eingang der sechsten Linsengruppe unmittelbar aufeinanderfolgenden Linsen 27, 28 mit jeweils sphärischen Linsenflächen. Im Beispiel folgt auf die Bikonvexlinsen 27, 28 eine schwach positive Meniskuslinse 29 mit bildseitiger Konkavfläche.

15

Am Ausgang der sechsten Linsengruppe LG6 unmittelbar vor der Systemblende 5 kommt eine Meniskengruppe mit zwei Meniskuslinsen 30, 31, deren Krümmungsmittelpunkte alle retikelseitig bzw. objektseitig liegen. An dieser Stelle könnte insbesondere bei Objektiven mit  
20 niedrigeren Aperturen auch nur eine entsprechende Meniskuslinse mit positiver oder negativer Brechkraft vorgesehen sein. Bei der gezeigten sehr hohen Apertur von  $NA \geq 1$  ist die gezeigte Zweiergruppe 30, 31 bevorzugt, wobei die eingangsseitige Meniskuslinse 30 bevorzugt positive und die darauffolgende Meniskuslinse 31 bevorzugt negative  
25 Brechkraft hat. Vorteilhafterweise ist deren negative Brechkraft so groß, dass im Strahlengang eine leichte Einschnürung in Form einer Hilfs-Taille 9 entsteht. Hierdurch kann erreicht werden, dass schiefe sphärische tangential zur schiefen sphärischen sagital günstig austariert werden kann.

30

Die zwischen Systemblende 5 und Bildebene 3 angeordnete siebte Linsengruppe LG7 stellt eine weitere Besonderheit erfindungsgemäßer

Projektionsobjektive dar. Besonders in diesem Bereich sind spezielle Maßnahmen erforderlich, um die Flächenbelastung der optischen Flächen insgesamt so zu beherrschen, dass eine aberrationsarme Abbildung bei ausreichender Transmission des Gesamtobjektivs erzielbar ist. Hierzu sollte zwischen Blende 5 und Wafer 3 dafür gesorgt werden, dass im Bauteil keine Aperturen entstehen, die als Bauteil gegen Luft eine Apertur nahe 1 erreichen. Ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung dieses Zieles wird hier dadurch geschaffen, dass unmittelbar vor der Bildebene 3 als letztes optisches Element eine Plankonvexlinse 34 mit sphärischer Eintrittsfläche und ebener Austrittsfläche angeordnet ist. Diese ist so dick, dass ihr Durchmesser mehr als die Hälfte des Durchmessers der Systemblende 5 beträgt, idealerweise sogar mehr als 60% oder 70% dieses Wertes. Anzustreben ist somit ein möglichst langer Radius mit hoher Öffnung dieser, vorzugsweise sphärischen, Eintrittsfläche. Dieser lange Radius ist anzustreben, da dadurch die Feldbelastung der Eintrittsfläche abnimmt. Je länger der Radius ist, desto kleiner ist das relative Feld und damit die induzierten Feldaberrationen. Die Eintrittsfläche kann auch asphärisch sein.

Die bildnahe Plankonvexgruppe, die hier durch ein einzelnes, einstückiges Linsenelement 34 gebildet wird, hat brechende Wirkung. Dies ist daran erkennbar, dass die Eintrittsfläche nicht konzentrisch zur Bildfeldmitte angeordnet ist, weil der Radius sich von der Linsendicke unterscheidet. Bevorzugt sind axial langgestreckte Linsen dieses Typs, bei denen der Krümmungsmittelpunkt der Eintrittsfläche innerhalb der Linse liegt. Plankonvexgruppen bzw. Plankonvexlinsen dieser Art unterscheiden sich daher wesentlich von halbkugeligen Plankonvexlinsen, bei denen der Radius im wesentlichen ihrer Dicke entspricht und die beispielsweise in der Mikroskopie zur Verbesserung der Einkopplung des Lichtes in das Mikroskopobjektiv genutzt werden und selbst keine brechende Eigenschaften haben dürfen.

- 17 -

Dem Plankonvexmeniskus 34 sind bei der gezeigten Ausführungsform zwei sehr große Positivlinsen 32, 33 vorangestellt, die den wesentlichen Beitrag zur Systembrechkraft bereitstellen. Dadurch, dass sie dicht hinter der Blende im Bereich großer Strahldurchmesser sitzen, ist auch hier die relative Feldbelastung minimiert. Das Beispiel zeigt somit eine sehr einfach und effiziente Auslegung eines für höchste Aperturen geeigneten lithographischen Objektivs bezüglich des Bereichs hinter der Systemblende. Der Plankonvexmeniskus 34 greift mit geringer Brechkraft das von den Positivlinsen 32, 33 kommende, konvergente

10 Bündel in Luft bzw. einem anderen geeigneten gasförmigen Medium innerhalb des Projektionsobjektivs auf, um es in die lichtempfindliche Schicht des Substrats weiterzuleiten. Günstig sind somit Ausführungsformen, bei denen zwischen Blende 5 und Wafer ausschließlich positive Linsen stehen, wobei zusätzlich allenfalls noch

15 eine oder mehrere planparallele Platten vorgesehen sein können. Auch eine möglichst niedrige Anzahl optischer Flächen in diesem Bereich ist günstig, da jede Fläche auch bei guter Entspiegelung Reflexionsverluste verursacht. Die Linsenanzahl sollte hier vier oder weniger betragen, wobei wiederum planparallele Platten optional vorgesehen sein können.

20

Weitere vorteilhafte Maßnahmen bestehen darin, dass im Bereich der Blende, insbesondere dicht hinter dieser, Flächen mit Asphären vorgesehen sein sollten. Diese können sich in einer Linse gegenüberstehen, wie es im Falle der bikonvexen, doppelt-asphärischen

25 Positivlinse 32 der Fall ist. Günstig ist weiterhin, wenn sowohl unmittelbar vor der Blendenebene, als auch unmittelbar dahinter eine asphärische Fläche vorgesehen ist. Im Beispielsfall sind dies die Austrittsfläche des Negativ-Meniskus 31 und die Eintrittsfläche der bikonvexen Positivlinse 32. Die hohe Anzahl von Asphären im Bereich

30 um die Systemblende 5 dient im Beispielfall vor allem der Korrektur der sphärischen Abberation (Zernike-Koeffizienten Z9, Z16, Z25, Z26, Z36,



Z49) sowie der Einstellung der Isoplanasie, also der Korrektur des aperturbedingten Abbildungsmaßstabes.

In Tabelle 1 ist die Spezifikation des Designs in bekannter Weise in tabellarischer Form zusammengefasst. Dabei gibt Spalte 1 die Nummer einer brechenden oder auf andere Weise ausgezeichneten Fläche, Spalte 2 den Radius  $r$  der Fläche (in mm), Spalte 3 den als Dicke bezeichneten Abstand  $d$  der Fläche zur nachfolgenden Fläche (in mm), Spalte 4 das Material der optischen Komponenten und Spalte 5 die Brechzahl bzw. den Brechungsindex des Materials des Bauelementes an, welches der Eintrittsfläche folgt. In Spalte 6 sind die nutzbaren, freien Radien bzw. der halbe freie Durchmesser der Linsen (in mm) angegeben.

Bei der Ausführungsform sind dreizehn der Flächen, nämlich die Flächen 2, 4, 7, 10, 15, 19, 27, 32, 41, 43, 45, 46 und 48 asphärisch. Tabelle 2 gibt die entsprechenden Asphärendaten an, wobei sich die asphärischen Flächen nach folgender Vorschrift berechnen:

$$p(h)=[((1/r)h^2)/(1+\text{SQRT}(1-(1+K)(1/r)^2h^2))]+C1*h^4+C2*h^6+....$$

Dabei gibt der Kehrwert  $(1/r)$  des Radius die Flächenkrümmung und  $h$  den Abstand eines Flächenpunktes von der optischen Achse an. Somit gibt  $p(h)$  die sogenannten Pfeilhöhe, d.h. den Abstand des Flächenpunktes vom Flächenscheitel in  $z$ -Richtung, d.h. in Richtung der optischen Achse. Die Konstanten  $K$ ,  $C1$ ,  $C2$ , ... sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

20

Das mit Hilfe dieser Angaben reproduzierbare optische System 1 ist für eine Arbeitswellenlänge von ca. 193nm ausgelegt, bei der das für alle Linsen verwendete, synthetisches Quarzglas einen Brechungsindex  $n = 1,56029$  hat. Die bildseitige numerische Apertur beträgt 1,1. Das Objektiv hat eine Baulänge (Abstand zwischen Bildebene und

25



Objektebene) von 1297mm. Bei einer Bildgröße von 22mm wird ein Lichtleitwert (Produkt aus numerischer Apertur und Bildgröße) von 24,1mm erreicht. Der bildseitige Arbeitsabstand, d.h. der Abstand zwischen der ebenen Austrittsfläche des letzten optischen Elements 34 und der Bildebene 3 ist nicht gesondert aufgeführt. Es kann z.B. 20 bis 50nm betragen. Dadurch ist das Projektionsobjektiv für die Nahfeld-Lithographie geeignet.

Möchte man an Stelle der Nahfeld-Lithographie Immersionslithographie betreiben, so ist dies durch geringfügige Modifikationen leicht möglich. Hat das Immersionsmedium im wesentlichen die gleiche Brechzahl wie das letzte optische Element des Objektivs ( das beispielsweise aus Glas oder Kristall besteht), so wird der Festkörper zur Erzielung eines größeren Abstandes zur Bildebene gekürzt und der entstehende größere Zwischenraum durch das Immersionsmedium, z.B. deionisiertes Wasser gefüllt. Weicht der Brechungsindex des Immersionsmediums von demjenigen der letzten optischen Komponente ab, werden beide Dicken bestmöglich aufeinander abgestimmt. Gegebenenfalls ist eine sphärische Nachkorrektur günstig, die beispielsweise mit Hilfe geeigneter Manipulatoren an einem oder mehreren Linsenelementen beispielsweise durch Verstellung von Luftabständen durchgeführt werden kann. Es kann auch günstig sein, dass hier beispielhaft dargestellt Design leicht zu modifizieren.

Damit ist ein Projektionsobjektiv geschaffen, das bei einer Arbeitswellenlänge von 193nm arbeitet, mit Hilfe konventioneller Techniken für Linsenherstellung und Beschichtungen hergestellt werden kann und eine Auflösung von Strukturen deutlich unterhalb 100nm erlaubt. Viele einzeln oder in Kombination nützliche, konstruktive Maßnahmen und der neuartige Aufbau des Bereichs zwischen Blende 5 und Bildebene 3 ermöglichen eine Gesamtapertur im zu belichtenden Medium von 1,1 bei relativ kleinen Flächenbelastungen der optischen

- 20 -

Flächen innerhalb des Projektionsobjektivs. Strukturbreiten im Bereich von 50nm können trotz der riesigen Apertur von 1,1 hervorragend dargestellt werden. Deutlich wird dies an geringen Queraberrationswerten und an einem Wellenfront-RMS-Wert von 2,6mλ bei 193nm über alle Bildhöhen.

Das vorgestellte Beispiel bietet weitere Entwicklungsmöglichkeiten in Richtung höherer Apertur und/oder geringerer Zahl der Grenzflächen. Beispielsweise können einige paarweise benachbarte Linsen zu jeweils einer einzigen Linse zusammengefasst werden, um auf diese Weise die Grenzflächenzahl jeweils um zwei zu reduzieren. Beispielsweise können die Linsen 23 und 24, die Linsen 18 und 19, die Linsen 13 und 14, die Linsen 26 und 27 und/oder die Linsen 11 und 12 jeweils zu einer Linse zusammengefasst werden. Gegebenenfalls sind hierbei asphärische Flächen zu verlegen oder zu modifizieren. Eine Zusammenfassung von Linsen ist besonders für kürzere Wellenlängen, z.B. 157nm günstig, bei denen Entspiegelung und Oberflächenrauhigkeit von Linsenoberflächen problematisch sein können. Gegebenenfalls kann bei höchsten Aperturen hinter der Blende eine weitere Positivlinse günstig sein, um bei Aperturerhöhungen möglichst wenig aperturbehaftete neue Aberrationen einzuführen.

Die Vorteile der Erfindung sind nicht nur bei rein refraktiven Projektionsobjektiven nutzbar, sondern auch bei katadioptrischen Projektionsobjektiven, insbesondere solchen, die mit geometrischer oder physikalischer (polarisationsselektiver) Strahlteilung arbeiten. Besonderheiten liegen vor allem bei Aufbau und Funktion im Bereich der bildnahen Systemblende und zwischen dieser und der Bildebene. Die vorgeschalteten Objektivteile, welche bei katadioptrischen Projektionsobjektiven mindestens einen abbildenden Spiegel umfassen, sollten zumindest eine Überkorrektur des Farblängsfehlers bereitstellen, um die entsprechende Unterkorrektur der letzten Linsengruppe zu

5 kompensieren. Vorzugsweise sollte eine Petzval-Überkorrektur bereitgestellt werden, um einen Vorhalt für die Petzval-Unterkorrektur der letzten Linsengruppe bereitzustellen. Da diese, ähnlich wie eine einzelne Positivlinse, bezüglich sphärischer Aberration unterkorrigiert ist, sollte der vorgelagerte Objektivteil insgesamt sphärisch überkorrigierend wirken. Die Maßnahmen zur Erzielung dieser optischen Charakteristika sind dem Fachmann bekannt und werden daher hier nicht näher erläutert.

Tabelle 1

FLAECHE	RADIEN	DICKEN	GLAESER	BRECHZAHL 193.304nm	1/2 FREIER DURCHMESSER
0	0.000000000	27.200000000	L710	0.99998200	45.607
1	0.000000000	5.918415780	L710	0.99998200	53.333
2	-856.520151429AS	8.513391670	SIO2HL	1.56028895	54.216
3	221.390186129	4.416825103	N2	1.00000320	58.807
4	388.002080060AS	7.500000000	SIO2HL	1.56028895	62.597
5	145.662170604	35.066769313	N2	1.00000320	64.799
6	-156.528478897	13.825053459	SIO2HL	1.56028895	68.237
7	-569.268909317AS	1.048245321	N2	1.00000320	84.737
8	-685.623617269	46.805975671	SIO2HL	1.56028895	86.118
9	-204.957576367	0.709606715	N2	1.00000320	103.144
10	-880.911273998AS	54.777943597	SIO2HL	1.56028895	125.013
11	-248.526945989	1.683182576	N2	1.00000320	131.423
12	224.822351709	54.871581452	SIO2HL	1.56028895	156.309
13	512.337183722	33.734945339	N2	1.00000320	153.303
14	304.374483761	58.667551666	SIO2HL	1.56028895	146.757
15	-6287.676161070AS	0.700000000	N2	1.00000320	140.984
16	129.979785804	69.743588545	SIO2HL	1.56028895	112.463
17	138.594373293	2.395572054	N2	1.00000320	85.809
18	138.485177581	10.992090105	SIO2HL	1.56028895	84.654
19	162.930027134AS	45.897552290	N2	1.00000320	78.232
20	-186.365747641	7.500000000	SIO2HL	1.56028895	75.979
21	209.249850090	47.901412683	N2	1.00000320	70.469
22	-92.976145902	7.500000000	SIO2HL	1.56028895	70.319
23	3940.003552383	22.698881573	N2	1.00000320	84.285
24	-210.566279065	13.458540900	SIO2HL	1.56028895	86.301
25	-481.930608562	10.599713214	N2	1.00000320	98.309
26	-299.003037123	29.233512385	SIO2HL	1.56028895	100.896
27	-211.128540124AS	0.700000000	N2	1.00000320	111.974
28	-241.783293846	45.186608069	SIO2HL	1.56028895	113.068
29	-142.093795869	0.700000000	N2	1.00000320	118.747
30	373.228657636	15.000000000	SIO2HL	1.56028895	144.714
31	281.545559695	37.551434993	N2	1.00000320	144.973
32	2257.943358151AS	15.000000000	SIO2HL	1.56028895	146.555
33	942.886809577	9.018344987	N2	1.00000320	151.237
34	1839.757565259	41.221307008	SIO2HL	1.56028895	152.796
35	-572.892294825	0.700000000	N2	1.00000320	156.198
36	536.885209090	59.927790928	SIO2HL	1.56028895	168.303
37	-588.394317091	0.700000003	N2	1.00000320	168.532
38	600.944472100	32.859055286	SIO2HL	1.56028895	162.458
39	1435.651038119	39.540839130	N2	1.00000320	158.952
40	-542.595637794	21.000000000	SIO2HL	1.56028895	157.309
41	-421.356226662AS	28.605920520	N2	1.00000320	156.999
42	-253.952587228	15.000000000	SIO2HL	1.56028895	153.788
43	-804.677872363AS	32.000000000	N2	1.00000320	158.842
44	0.000000000	10.700000010	N2	1.00000320	162.250
45	439.828583479AS	60.615863511	SIO2HL	1.56028895	169.169
46	-554.126799640AS	0.854609370	N2	1.00000320	169.058
47	251.288231110	66.707994802	SIO2HL	1.56028895	152.022
48	-1261.158042833AS	0.700000000	N2	1.00000320	149.150
49	120.292681477	139.355322544	SIO2HL	1.56028895	99.158
50	0.000000000	0.000000000	SIO2HL	1.56028895	11.402
51	0.000000000	0.000000000		1.00000000	11.402

## Tabelle 2

## FLAECHE NR. 2

K	0.0000
C1	-2.94971307e-008
C2	-5.57984348e-011
C3	8.46982512e-015
C4	5.00708078e-019
C5	-3.78477968e-022
C6	4.94732324e-026
C7	-2.07498764e-030
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 4

K	0.0000
C1	2.26266925e-007
C2	4.12437333e-011
C3	-8.13482251e-015
C4	-9.73333957e-019
C5	5.21683282e-022
C6	-6.98262222e-026
C7	3.24713110e-030
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 7

K	0.0000
C1	2.14406930e-008
C2	4.01486796e-013
C3	-1.15749689e-016
C4	-2.17404465e-020
C5	4.76039865e-024
C6	-4.04274950e-028
C7	2.26352156e-032
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 10

K	0.0000
C1	4.04801375e-008
C2	3.59502309e-013
C3	-4.82739756e-017
C4	-2.12222071e-021
C5	3.16153319e-025
C6	-1.24031349e-029
C7	1.72585585e-034
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 15

K	0.0000
C1	1.77772008e-009
C2	6.20555687e-014
C3	1.17962639e-018
C4	-3.75710986e-023
C5	8.23659263e-027
C6	-3.78043433e-031
C7	5.28341681e-036
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 19

K	0.0000
C1	1.12510953e-007
C2	5.25382772e-012
C3	3.54985200e-016
C4	2.17219317e-020
C5	3.35596515e-024
C6	-1.94149952e-028
C7	4.47299373e-032
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 27

K	0.0000
C1	2.75008177e-008
C2	-4.51696088e-013
C3	-5.50353634e-018
C4	-2.48871975e-022
C5	-4.84285060e-026
C6	4.35721702e-030
C7	-1.70355795e-034
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 32

K	0.0000
C1	4.61774725e-009
C2	-1.45428945e-013
C3	5.33766031e-018
C4	-1.05172907e-022
C5	1.13262775e-027
C6	2.90828821e-032
C7	-9.47335184e-037
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## Tabelle 2 (Fortsetzung)

## FLAECHE NR. 41

K	0.0000
C1	-1.74774919e-009
C2	3.60065638e-015
C3	-6.33371869e-019
C4	-2.58752868e-023
C5	-1.29026764e-027
C6	4.06422380e-032
C7	-2.03413277e-036
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 43

K	0.0000
C1	-1.52776855e-009
C2	3.99966157e-014
C3	-3.59152071e-019
C4	-2.46490776e-023
C5	2.62578515e-028
C6	9.94510225e-032
C7	-1.17559041e-036
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 45

K	0.0000
C1	-6.79036688e-009
C2	-4.98113790e-014
C3	2.59739233e-018
C4	-5.22422066e-023
C5	1.38345858e-028
C6	-9.60600374e-033
C7	4.93449545e-037
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 46

K	0.0000
C1	-1.23311338e-009
C2	9.47803783e-014
C3	-6.59387651e-020
C4	-4.20864177e-023
C5	-4.65343524e-028
C6	-7.27238546e-033
C7	5.62850375e-037
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

## FLAECHE NR. 48

K	0.0000
C1	2.98238360e-010
C2	-6.63488568e-014
C3	8.08884615e-018
C4	-1.56791602e-022
C5	-6.64400102e-029
C6	3.42882241e-032
C7	-1.87278246e-037
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000



Patentansprüche

5

1. Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, das Projektionsobjektiv mit:  
10 einer Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind; und  
einer mit Abstand vor der Bildebene angeordneten Systemblende (5) mit einem Blendendurchmesser;  
wobei die der Bildebene nächste optische Gruppe mit Brechkraft  
15 eine Plankonvexgruppe (34) mit einer im wesentlichen sphärischen Eintrittsfläche und einer im wesentlichen ebenen Austrittsfläche ist; und  
wobei die Plankonvexgruppe (34) einen Durchmesser hat, der mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt.  
20
2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, bei dem die Plankonvexgruppe durch eine einzige, vorzugsweise einstückige Plankonvexlinse (34) gebildet ist.
- 25 3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zwischen der Systemblende (5) und der Bildebene (3) nur Linsen (32, 33, 34) mit positiver Brechkraft angeordnet sind, gegebenenfalls in Kombination mit mindestens einer planparallelen Platte.
- 30 4. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Systemblende (5) und der Bildebene (3), insbesondere zwischen Systemblende und Plankonvexgruppe

(34), mindestens eine bikonvexe Positivlinse angeordnet ist, vorzugsweise zwei bikonvexe Positivlinsen (32, 33).

5. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) angeordnete letzte Linsengruppe (LG7) maximal vier optische Elemente mit Brechkraft aufweist, vorzugsweise nur drei Linsen (32, 33, 34).
6. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) angeordnete letzte Linsengruppe eine Brennweite hat, die weniger als 20%, insbesondere weniger als 15% der Baulänge des Projektionsobjektivs beträgt.
7. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Abstand zwischen der Systemblende und der Bildebene (3) weniger als 25% der Baulänge und/oder weniger als 95% des Blendendurchmesser beträgt.
8. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem es sich um ein rein refraktives Projektionsobjektiv (1) handelt.
9. Projektionsobjektiv nach Anspruch 7, bei dem es sich um ein Ein-Taillen-System mit einem objektnahen Bauch (6), einem bildnahen Bauch (8) und einer dazwischenliegenden Taille (7) handelt.
10. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das für eine Arbeitswellenlänge von 193nm ausgelegt ist.

11. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem alle transparenten optischen Elemente aus dem gleichen Material gefertigt sind, insbesondere aus synthetischem Quarzglas.
- 5
12. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das eine bildseitige numerische Apertur  $NA \geq 0,85$  hat, wobei vorzugsweise  $NA \geq 1$  ist.
- 10
13. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein bildseitiger Arbeitsabstand weniger als das Vierfache der Arbeitswellenlänge beträgt, wobei der Arbeitsabstand vorzugsweise kleiner als die Arbeitswellenlänge ist und insbesondere weniger als die Hälfte der Arbeitswellenlänge beträgt.
- 15
14. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Bildfelddurchmesser größer als 10mm, insbesondere größer als 20mm ist und/oder bei dem der Bildfelddurchmesser mehr als 1%, insbesondere mehr als 1,5% der Baulänge des Projektionsobjektivs und/oder mehr als 1%, insbesondere mehr als 5% des größten Linsendurchmessers beträgt.
- 20
15. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen Systemblende (5) und Bildebene (3) mindestens eine doppelt-asphärische Linse (32) angeordnet ist, die vorzugsweise als Bikonvexlinse ausgebildet ist.
- 25
16. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die letzte optische Fläche vor der Systemblende (5) und
- 30

die erste optische Fläche nach der Systemblende asphärisch sind, vorzugsweise mit von der Blende wegweisenden Krümmungen.

- 5 17. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in einem Nahbereich vor der Systemblende (5), insbesondere unmittelbar vor der Systemblende, mindestens eine Meniskuslinse (30, 31) mit objektwärts gerichteten Konkavflächen angeordnet ist.
- 10 18. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mindestens eine Meniskusgruppe mit mindestens zwei aufeinanderfolgenden Meniskulinsen (30, 31) mit objektseitigen Konkavflächen im Nahbereich der Systemblende (5), insbesondere unmittelbar vor der Systemblende angeordnet ist.
- 15 19. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Nahbereich vor der Systemblende (5) eine Positiv-Negativ-Meniskengruppe mit zwei Meniskulinsen (30, 31) angeordnet ist, deren Linsenflächen objektseitig konkav sind.
- 20 20. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Bildebene (3) durch Einschnürung des Strahldurchmessers eine Hilfstaille (9) vorliegt, die vorzugsweise im Nahbereich vor der Systemblende (5)
- 25 21. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) mindestens eine Meniskuslinse (25, 26) mit negativer Brechkraft und bildwärts gerichteten Konkavflächen angeordnet ist.
- 30

22. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) eine Meniskengruppe mindestens zwei Meniskuslinsen (25, 26) mit negativer Brechkraft und bildwärts gerichteten Konkavflächen angeordnet ist, wobei vorzugsweise die Brechkraft des objektseitigen Meniskus dieser Meniskengruppe mindestens 30% größer ist als die Brechkraft einer darauffolgenden Meniskuslinse (26) der Meniskengruppe.
23. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) in der Nähe der Taille mindestens eine Positiv-Meniskuslinse (23, 24) mit objektseitiger Konkavfläche angeordnet ist.
24. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Taille (7) und der Systemblende (5) in dieser Reihenfolge mindestens eine Meniskuslinse (23, 24) mit objektseitiger Konkavfläche und darauffolgend mindestens eine Meniskuslinse (25, 26) mit bildseitiger Konkavfläche angeordnet ist, wobei vorzugsweise die mindestens eine Meniskuslinse mit objektseitiger Konkavfläche positive Brechkraft und die mindestens eine Meniskuslinse mit bildseitiger Konkavfläche negative Brechkraft hat.
25. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Bereich der Taille (7) eine Negativgruppe mit mindestens zwei Negativlinsen (20, 21, 22) angeordnet ist, wobei die Negativgruppe vorzugsweise mindestens drei aufeinanderfolgende Negativlinsen aufweist.
26. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine der Objektebene (2) folgende erste Linsengruppe

(LG1) mindestens zwei, vorzugsweise drei oder mehr Negativlinsen (11, 12, 13) aufweist.

- 5 27. Projektionsobjektiv nach Anspruch 26, bei dem in der ersten Linsengruppe (LG1) mindestens eine der auf die Objektebene folgenden ersten vier optischen Flächen asphärisch ist, wobei vorzugsweise in der ersten Linsengruppe mindestens zwei optische Flächen asphärisch sind.
- 10 28. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Bereich großer Strahldurchmesser im Nahbereich der Objektebene (2) mindestens eine Meniskuslinse (16) mit positiver Brechkraft und bildseitiger Konkavfläche angeordnet ist.
- 15 29. Projektionsobjektiv nach Anspruch 28, bei dem die zur Bildebene gerichtete konvexe Fläche der Meniskuslinse (16) einen Radius hat, der kleiner als 50% der Baulänge des Projektionsobjektivs ist.
- 20 30. Projektionsobjektiv zur obskurationsfreien Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, das Projektionsobjektiv mit:  
einer Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind; und  
25 einer mit Abstand vor der Bildebene (3) angeordneten Systemblende (5);  
wobei zwischen der Systemblende (5) und der Bildebene (3) nur Linsen (32, 33, 34) mit positiver Brechkraft angeordnet sind, gegebenenfalls zusätzlich zu mindestens einer planparallelen  
30 Platte.



31. Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in der Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, das Projektionsobjektiv mit:
- 5 einer Vielzahl von optischen Elementen, die entlang einer optischen Achse angeordnet sind; und
- einer mit Abstand vor der Bildebene (3) angeordneten Systemblende (5);
- 10 wobei unmittelbar vor der Systemblende mindestens eine Meniskusgruppe mit mindestens zwei aufeinanderfolgender Meniskusslinsen (30, 31) mit objektseitigen Konkavflächen angeordnet ist.
32. Projektionsobjektiv nach Anspruch 31, bei dem die
- 15 Meniskusgruppe eine Positiv-Negativ-Meniskengruppe mit zwei Meniskusslinsen (30, 31) ist, deren Linsenflächen objektseitig konkav sind.

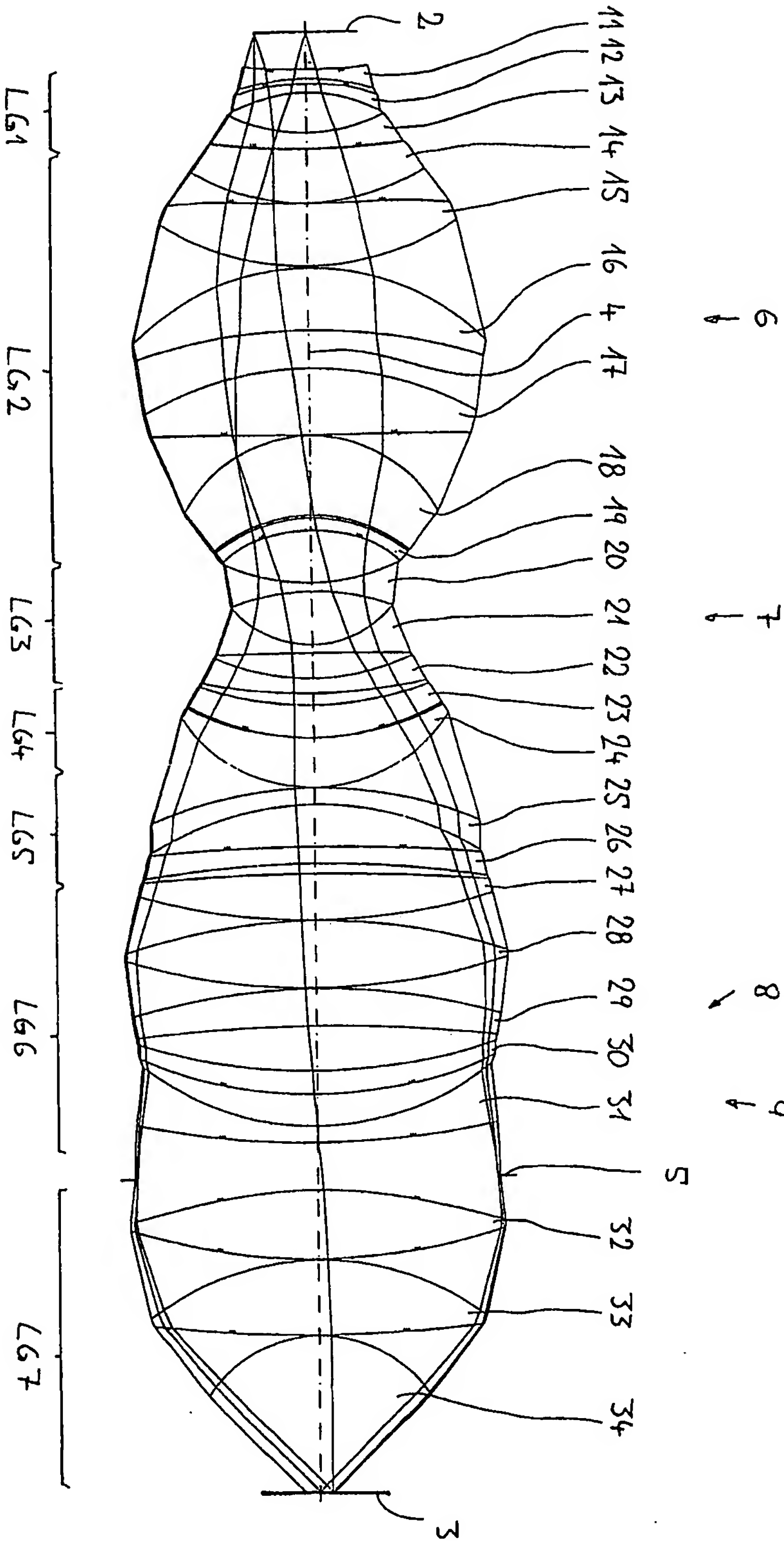


Fig. 1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 02/04846

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 01 51979 A (ZEISS CARL) 19 July 2001 (2001-07-19) figure 3; table 2 ---	1,2,4,7
X	WO 01 65296 A (NIPPON KOGAKU KK) 7 September 2001 (2001-09-07) abstract; figure 13; table 1 ---	1,2,4
X	US 2002/005938 A1 (OMURA YASUHIRO) 17 January 2002 (2002-01-17)  paragraph '0114! - paragraph '0117!; figure 9; table 3 ---	1-3, 8-11, 17-21, 25-29
X	EP 1 061 396 A (CANON KK) 20 December 2000 (2000-12-20) abstract; figures 70,73,82 ---	30
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the International filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

29 January 2003

Date of mailing of the International search report

11.02.03

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Daffner, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 02/04846

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/024741 A1 (ISHII HIROYUKI ET AL) 28 February 2002 (2002-02-28) abstract; figures 5,7 ---	30
X	US 6 008 884 A (HAYASHI KIYOSHI ET AL) 28 December 1999 (1999-12-28) abstract; figure 2 ---	31,32
X	US 5 986 824 A (MERCADO ROMEO I) 16 November 1999 (1999-11-16) abstract; figure 2A -----	31,32

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, namely:

1. Claims: 1-29

1.1. Claims: 1-6

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(a) the arrangement of the lenses between the system shutter and the image plane is defined.

1.2. Claims: 7, 8, 9

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(b) the design of the lens is specified as purely refractive and as a one-waist system with a spacing between the system shutter and the image plane which is less than 25% of the overall length.

1.3. Claims: 10-14

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(c) the working wavelength, glass type, numerical aperture, working distance and image field diameter are defined.

1.4. Claims: 15, 16

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(d) between the system shutter and the image plane a lens is made aspherical.

1.5. Claims: 17-19, 21-25

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the shutter diameter, wherein

(e) meniscus lenses are arranged in front of the system shutter or between the waist and the system shutter.

1.6. Claim: 20

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(f) the design is specified as a two-waist system with a waist and an auxiliary waist.

1.7. Claims: 26-29

Projection lens with, closest to the image plane, a plano-convex group, the diameter of which is at least 50% of the diameter of the shutter, wherein

(g) the lens groups adjacent to the object plane are defined.

2. Claim: 30

Projection lens for obscuration-free depiction with ultra-violet light, there being arranged between the system shutter and the image plane only lenses having a positive refractive index.

3. Claims: 31, 32

Projection lens, there being arranged directly in front of the system shutter at least one meniscus group having at least two successive meniscus lenses with concave surfaces on the object side.

Please note that all the inventions specified under point 1, though not necessarily linked by a common inventive concept, could be searched in full without entailing effort that would have justified an additional search fee.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

\*Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 02/04846

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0151979	A	19-07-2001	AU 2875301 A	24-07-2001
			WO 0155767 A2	02-08-2001
			EP 1247132 A2	09-10-2002
			WO 0151979 A2	19-07-2001
			US 2002012100 A1	31-01-2002
			US 2001043391 A1	22-11-2001
-----				
WO 0165296	A	07-09-2001	EP 1191378 A1	27-03-2002
			WO 0165296 A1	07-09-2001
-----				
US 2002005938	A1	17-01-2002	JP 2001343582 A	14-12-2001
-----				
EP 1061396	A	20-12-2000	JP 2000352666 A	19-12-2000
			JP 2000352667 A	19-12-2000
			JP 2000356742 A	26-12-2000
			JP 2000356743 A	26-12-2000
			EP 1061396 A2	20-12-2000
-----				
US 2002024741	A1	28-02-2002	JP 2001228401 A	24-08-2001
-----				
US 6008884	A	28-12-1999	JP 11006957 A	12-01-1999
			DE 19818444 A1	29-10-1998
-----				
US 5986824	A	16-11-1999	NONE	
-----				

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/04846

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G03F7/20

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)  
IPK 7 G03F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwandete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 01 51979 A (ZEISS CARL) 19. Juli 2001 (2001-07-19) Abbildung 3; Tabelle 2 ---	1,2,4,7
X	WO 01 65296 A (NIPPON KOGAKU KK) 7. September 2001 (2001-09-07) Zusammenfassung; Abbildung 13; Tabelle 1 ---	1,2,4
X	US 2002/005938 A1 (OMURA YASUHIRO) 17. Januar 2002 (2002-01-17)  Absatz '0114! - Absatz '0117!; Abbildung 9; Tabelle 3 ---	1-3, 8-11, 17-21, 25-29
X	EP 1 061 396 A (CANON KK) 20. Dezember 2000 (2000-12-20) Zusammenfassung; Abbildungen 70,73,82 --- -/-	30

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgedr.)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Januar 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

11.02.03

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Daffner, M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 02/04846

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2002/024741 A1 (ISHII HIROYUKI ET AL) 28. Februar 2002 (2002-02-28) Zusammenfassung; Abbildungen 5,7 -----	30
X	US 6 008 884 A (HAYASHI KIYOSHI ET AL) 28. Dezember 1999 (1999-12-28) Zusammenfassung; Abbildung 2 -----	31,32
X	US 5 986 824 A (MERCADO ROMEO I) 16. November 1999 (1999-11-16) Zusammenfassung; Abbildung 2A -----	31,32

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 02/04846

### Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
2. ☐ Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.  
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

### Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☒ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☐ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.

☒ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

## WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-29

1.1. Ansprüche: 1-6

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (a) die Anordnung der Linsen zwischen Systemblende und Bildebene definiert wird.

1.2. Ansprüche: 7,8,9

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (b) die Bauform des Objektives als rein refraktiv und Ein-Taillensystem festgelegt wird mit einem Abstand zwischen der Systemblende und der Bildebene der weniger als 25 % der Baulänge beträgt.

1.3. Ansprüche: 10-14

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (c) die Arbeitswellenlänge, Glasart, numerische Apertur, Arbeitsabstand und Bildfelddurchmesser definiert werden.

1.4. Ansprüche: 15,16

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (d) zwischen Systemblende und Bildebene eine Linse asphärisiert wird.

1.5. Ansprüche: 17-19,21-25

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (e) vor der Systemblende bzw. zwischen Taille und Systemblende Meniskuslinsen angeordnet sind.

1.6. Anspruch : 20

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei

## WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

(f) die Bauform als Zwei - Taille - System mit Taille und Hilfstaille festgelegt wird.

1.7. Ansprüche: 26-29

Projektionsobjektiv mit einer der Bildebene nächst gelegenen Plankonvexgruppe deren Durchmesser mindestens 50% des Blendendurchmessers beträgt, wobei (g) die der Objektebene benachbarten Linsengruppen definiert werden.

2. Anspruch : 30

Projektionsobjektiv zur obskurationsfreien Abbildung mit Ultraviolettlicht wobei zwischen der Systemblende und der Bildebene nur Linsen positiver Brechkraft angeordnet sind.

3. Ansprüche: 31,32

Projektionsobjektiv, wobei unmittelbar vor der Systemblende mindestens eine Meniskusgruppe mit mindestens zwei aufeinanderfolgenden Meniskusslinsen mit objektseitigen Konkavflächen angeordnet ist.

Bitte zu beachten daß für alle unter Punkt 1 aufgeführten Erfindungen, obwohl diese nicht unbedingt durch ein gemeinsames erfinderisches Konzept verbunden sind, ohne Mehraufwand der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, eine vollständige Recherche durchgeführt werden konnte.



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/04846

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0151979 A	19-07-2001	AU 2875301 A	24-07-2001
		WO 0155767 A2	02-08-2001
		EP 1247132 A2	09-10-2002
		WO 0151979 A2	19-07-2001
		US 2002012100 A1	31-01-2002
		US 2001043391 A1	22-11-2001
WO 0165296 A	07-09-2001	EP 1191378 A1	27-03-2002
		WO 0165296 A1	07-09-2001
US 2002005938 A1	17-01-2002	JP 2001343582 A	14-12-2001
EP 1061396 A	20-12-2000	JP 2000352666 A	19-12-2000
		JP 2000352667 A	19-12-2000
		JP 2000356742 A	26-12-2000
		JP 2000356743 A	26-12-2000
		EP 1061396 A2	20-12-2000
US 2002024741 A1	28-02-2002	JP 2001228401 A	24-08-2001
US 6008884 A	28-12-1999	JP 11006957 A	12-01-1999
		DE 19818444 A1	29-10-1998
US 5986824 A	16-11-1999	KEINE	

Translation of WO 03/077036 A1

**Publication number:** WO 03/077036 A1  
**Publication date:** 2003-09-18  
**Inventor(s):** SCHUSTER KARL-HEINZ [DE] +  
**Applicant(s):** ZEISS CARL SEMICONDUCTOR MFG [DE]; SCHUSTER KARL-HEINZ [DE] +  
**Classification:**  
- **international:** G02B13/14; G02B13/18; G02B13/24; **G03F7/20**; H01L21/027; G02B13/14; G02B13/18; G02B13/24; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): **G03F7/20**  
- **European:** G02B13/14B; G03F7/20T16  
**Application number:** PCT/EP02/04846  
**Filing date:** 2002-05-03  
**Priority number(s):** DE 102 10 899.4 (2002-03-08)

**Abstract:** A very high-aperture, purely refractive projection objective having a multiplicity of optical elements has a system diaphragm (5) arranged at a spacing in front of the image plane. The optical element next to the image plane (3) of the projection objective is a planoconvex lens (34) having a substantially spherical entrance surface and a substantially flat exit surface. The planoconvex lens has a diameter that is at least 50% of the diaphragm diameter of the system diaphragm (5). It is preferred to arrange only positive lenses (32, 33, 34) between the system diaphragm (5) and image plane (3). The optical system permits imaging in the case of very high apertures of  $NA \geq 0.85$ , if appropriate of  $NA \geq 1$ .

DescriptionVery high-aperture projection objective

The invention relates to a projection objective for projecting a pattern arranged in the object plane of the projection objective into the image plane of the projection objective with the aid of ultraviolet light of a prescribed operating wavelength.

Photolithographic projection objectives have been in use for several decades for producing semiconductor components and other finely structured components. They serve the purpose of projecting patterns of photomasks or reticles, which are also denoted below as masks or reticles, onto an object, coated with a photosensitive layer, with a very high resolution on a reducing scale.

Three developments running in parallel are chiefly used in order to generate ever finer structures of the order of magnitude of 100 nm or below. Firstly, an attempt is being made to enlarge the image-side numerical aperture (NA) of the projection objective beyond the currently achievable values into the region of  $NA=0.8$  or thereabove. Secondly, use is being made of ever shorter operating wavelengths of ultraviolet light, preferably wavelengths of less than 260 nm, for example 248 nm, 193 nm, 157 nm or below. Finally, still other measures are being used to increase resolution, for example, phase-shifting masks and/or oblique illumination. In particular, the use of phase-shifting masks requires non-obscured systems, that is to say systems without shading in the image field. Systems without shadows in the image field are generally to be preferred in microlithography, even if obscured systems with otherwise outstanding optical properties are available (for example, DE 196 39 586 corresponding to U.S. Pat. No. 6,169,627 B1).

Limits to angular loadability are reached, above all, for the lenses near the image, when the aperture is increased significantly above  $NA=0.85$ . Larger apertures of about  $NA=1$  or above are to be regarded as impractical, since it has to be assumed that because of total reflection in conjunction with such high apertures edge and coma beams can neither be coupled out from an objective nor be coupled into the photosensitive layer of the substrate.

It is one object of the invention to create a projection objective that is distinguished by a high image-side numerical aperture, an image field large enough for practical use in wafer steppers or wafer scanners, and has a good correction state.

This object is achieved by means of a projection objective having the features of claim 1. Advantageous developments are specified in the dependant claims. The wording of all the claims is incorporated in the content of the description by reference.

In accordance with one aspect of the invention, a projection objective for projecting a pattern arranged in the object plane of the projection objective into the image plane of the projection objective with the aid of ultraviolet light of a prescribed operating wavelength has a multiplicity of optical elements which are arranged along an optical axis, and a system diaphragm arranged at a spacing in front of the image plane and having a diaphragm diameter. The optical group with refractive power next to the image plane is a planoconvex group having a substantially spherical entrance surface and a substantially flat exit surface. The exit surface is the last optical surface of the system and needs to be arranged in the vicinity of a substrate to be exposed, but without touch contact with the latter. If appropriate, optical contact can be mediated via an immersion medium, for example, a liquid. The planoconvex group has a diameter that is at least 50% of the diaphragm diameter. The diameter of the planoconvex group can preferably even be more than 60% or more than 70% of the diaphragm diameter.

The system diaphragm within the meaning of this application is the region close to the image plane in which the main beam of the projection intersects the optical axis. A diaphragm for limiting and, if appropriate, for adjusting the aperture used can be arranged in the region of the system diaphragm. In the case of systems with at least one intermediate image, there exists at least one further diaphragm plane with a larger distance from the image plane.

It is possible by means of the abovementioned measures to implement very high image-side numerical apertures  $NA \geq 0.85$ , it even being possible for the numerical aperture to be  $NA=1$  or more, for example  $NA=1.1$ . It is thereby possible for structural widths of the order of magnitude of 50 nm to be effectively projected using operating wavelengths, for example of 193 nm, that can conventionally be well managed. High apertures, in particular in the region of  $NA=1$  or above, require

special measures in order to manage the superficial loading of the optical surfaces overall, and, in particular, the superficial loading in the region between the system diaphragm and the image plane. It is impermissible for high apertures related to components to arise in this region, since given a very oblique incidence of light, a large proportion of the incident light can no longer pass through the transparent optical elements, and can thus no longer contribute to the image production. If use is made as refractive group next to the image of a planoconvex group that is so thick axially that its diameter reaches more than half the diaphragm diameter, then by comparison with conventional lenses the strongly curved entrance surface has an unusually large dimension. Given a high opening of the lens surface, the aim should be a longer radius of the entrance surface since this brings about a reduction in the field loading. The longer the radius of the last entrance surface in front of the image plane, the smaller is the relative field, and the smaller therefore are also the induced field aberrations. This renders it possible for high beam apertures produced in front of the planoconvex lens in a suitable way to be transferred as far as the action site in the image plane with few aberrations and acceptable light losses.

In a preferred development, the planoconvex group is formed by a single, unipartite planoconvex lens. It is also possible to design the planoconvex group in the form of a divided planoconvex lens whose parts are preferably wrung onto one another. The division can be performed along a flat or curved dividing surface. A division renders it possible, in particular, for the part of the planoconvex group near the image field, in which particularly high radiation energy densities occur, to be produced from a particularly radiation-resistant material, such as calcium fluoride, for example, while regions of lesser radiation loading can be produced from another material, for example synthetic quartz glass. It is possible, if appropriate, to provide a plane-parallel end plate as that element of the planoconvex group which is nearest to the image. This is preferably wrung onto the preceding optical element. It is also possible within narrow limits for the planoconvex group to be split up into separate lens elements between which at least some regions can have a small air spacing which should, however, be substantially below one millimeter. The radii should be so curved in relation to the air gap that no total reflection takes place. Depending on the angular loadability of the thin coating layer, the angular loading in this case preferably remains smaller than  $\sin u'$  from 0.85 to 0.95.

In accordance with another aspect of the invention, it is particularly advantageous when only lenses with positive refractive power are arranged between the system diaphragm and the image plane, if appropriate with the addition of one or more plane-parallel, transparent plates. For example, at least one biconvex positive lens can be arranged between the system diaphragm and the planoconvex group. At least two, in particular exactly two, biconvex positive lenses are more advantageous. In a preferred embodiment, two positive lenses, which provide the essential proportion of the system refractive power, are placed in front of a planoconvex meniscus. Owing to the fact that said positive lenses are seated right next to the system diaphragm, and can operate in a large diameter, a very small relative field loading can be achieved here, as well. This results in a very simple and efficient design of a projection objective with reference to the region behind the system diaphragm. It is accordingly advantageous when the last lens group arranged between the system diaphragm and image plane has a maximum of four optical elements with refractive power, ideally only three lenses, which are preferably positive lenses in each case. Lenses with negative refractive power can be provided as long as their refractive power is low by comparison with the total refractive power of the lens group arranged between the system diaphragm and image plane. Plane-parallel plates can be provided in addition.

A refractive power distribution advantageous for a high image-side numerical aperture is distinguished by the fact that the last lens group arranged between the system diaphragm and image plane advantageously has a focal length that is less than 20% or 17%, in particular less than 15% of the overall length of the projection objective. Here, overall length denotes the axial spacing between the object plane and the image plane, which is optically conjugate therewith. The spacing between the system diaphragm and image plane is preferably less than 25%, in particular less than 22% of the overall length and/or less than approximately 95%, 90% or 86% of the diaphragm diameter. Consequently, a position of the system diaphragm very near the image is advantageous overall. In this case, the diaphragm can be real or, equivalently the conjugate site of the real diaphragm given the presence of an intermediate image.

Inventive projection objectives can be of catadioptric or dioptric design and are to project without obscuration. Preference is given to purely refractive, that is to say, dioptric projection objectives for which all the optical components having refractive power consist of transparent material. One example involves a single-waist system



with a belly near the object, a belly near the image and a waist therebetween, in the region of which the beam diameter is preferably less than approximately 50% of the maximum beam diameter in the region of one of the bellies.

The systems can be designed such that all the transparent optical elements are produced from the same material. Synthetic quartz glass is used for all the lenses in the case of an embodiment designed for an operating wavelength of 193 nm. Embodiments for 157 nm, in the case of which all the lenses consist of calcium fluoride or another crystal fluoride material, are also possible. Also possible are combinations of a plurality of different materials, for example in order to facilitate the correction of chromatic aberrations, or to reduce compaction. For example, for 193 nm the synthetic quartz glass can be replaced by a crystal material, for example calcium fluoride.

Very high-aperture projection objectives, in particular also purely refractive projection objectives, for which the image-side numerical aperture is  $NA \geq 0.85$  are possible within the scope of the invention. The said aperture is preferably at least 1 and has a value of  $NA = 1.1$  in an embodiment explained in greater detail below. Despite these high numerical apertures, it is possible via a gas-filled gap for sufficient light energy to be coupled into the substrate to be exposed when a sufficiently small image-side working distance is observed. In the case of preferred embodiments, said working distance is below four times the operating wavelength used, in particular below the operating wavelength. It is particularly advantageous when the working distance is less than half the operating wavelength, for example less than one third, one quarter or one fifth of the operating wavelength. For these short working distances, it is possible to image in the optical near field, and in this case evanescent fields that existed in the immediate vicinity of the last optical surface of the imaging system are used for imaging. The projection objectives are also suitable for immersion lithography, in the case of which the space between the exit surface of the objective and the substrate is filled with an immersion fluid having a suitable refractive index and adequate transmission for the wavelength used. Suitable immersion fluids can include, for example, chiefly the elements H, F, C or S. De-ionized water can also be used.

Despite these extreme values for numerical aperture and working distance, thanks to the invention, it is possible to have objectives with a very large image field diameter which is adequate for practical lithography and, in the case of preferred

embodiments, is greater than approximately 10 mm, in particular greater than approximately 20 mm, and/or can be more than 1%, in particular more than 1.5% of the overall length of the projection objective and/or more than 1%, in particular more than 5% of the largest lens diameter.

Preferred projection objectives are distinguished by a number of advantageous design and optical features which are conducive alone or in combination with one another for suiting the objective for ultra-fine microlithography, in particular in the optical near field, and for immersion lithography.

At least one aspheric surface is preferably arranged in the region of the system diaphragm. It is preferred for a plurality of surfaces with aspherics to come in close succession behind the diaphragm. In particular, at least one double aspheric lens that is preferably a biconvex lens can be provided between the system diaphragm and image plane. Thus, at least one double spherical biconvex lens can also be advantageous in the region between the waist and image plane, that is to say in the last belly. It can further be advantageous when the last optical surface in front of the system diaphragm and the first optical surface behind the system diaphragm are aspheric. In particular, it is possible here to provide opposite aspheric surfaces having curvatures pointing away from the diaphragm. The high number of aspheric surfaces in the region of the system diaphragm is advantageous for the correction of the spherical aberration, and has an advantageous effect on the setting of the isoplanatism.

At least one meniscus lens with an object-side concave surface is preferably provided in the region directly in front of the system diaphragm. With higher apertures, at least two such meniscuses following one another and capable of having positive or negative refractive power may be advantageous. In the case of very high aperture angles of  $NA \geq 1.0$ , preference is given to a group of two such meniscuses for which a meniscus with negative refractive power follows a meniscus with positive refractive power. The negative refractive power is preferably so high that a slight cross-sectional construction (auxiliary waist) can occur in the beam.

A meniscus group with a positive meniscus and a negative meniscus situated therebehind, in the case of which group the centers of curvature of all the optical surfaces are situated on the object side or reticle side, can also be advantageous

independently of the other features of the invention in the case of other projection objectives, particularly directly in front of diaphragm in the range of large beam diameters, in which case the diaphragm can be a physical diaphragm for changing the beam diameter, or a conjugate diaphragm.

It has proved, furthermore, to be advantageous when at least one meniscus lens with negative refractive power and with a concave surface directed toward the image is arranged between the waist and the system diaphragm. At least two consecutive such meniscus lenses whose centers of curvature lie on the image side are frequently particularly advantageous. It is advantageous in this case when the refractive power of the first, object-side meniscus is at least 30% stronger than that of the following, image-side meniscus of the meniscus group.

It can be advantageous, furthermore, when at least one positive meniscus lens having an object-side concave surface is arranged between the waist and the system diaphragm in the vicinity of the waist. Instead of a meniscus lens of this type, a plurality of, for example two, consecutive lenses of this type may also be provided in this case.

Particularly advantageous are embodiments in the case of which arranged between the waist and the system diaphragm in this order are at least one meniscus lens with an object-side concave surface and, therebehind, at least one meniscus lens with an image-side concave surface. In each case, two consecutive meniscuses of the respective curvatures are preferably provided. The meniscus lenses facing the waist preferably have a positive refractive power, while the meniscuses facing the image plane preferably have a negative one. A change in the position of the centers of curvature of meniscuses thereby takes place in the region between these lenses or lens groups.

It is preferred for a plurality of negative lenses to be arranged consecutively in the region of the waist, there being at least two, preferably three negative lenses in preferred embodiments. The said lenses bear the main load of the Petzval correction.

At least two negative lenses are advantageous at the object-side input of the system during entry into the first belly, in order to widen the beam coming from the object. Three or more such negative lenses are preferred. It is advantageous in

the case of high input apertures of more than 0.2 when at least one aspheric surface is provided on at least one of the first lenses. Each of the input-side negative lenses preferably has at least one aspheric surface.

A lens group with a strong positive refractive power which constitutes the first belly in the beam guides preferably follows behind this input group. In this group, at least one meniscus lens with positive refractive power and image-side concave surfaces can be advantageous in the region of large beam heights in the near zone of the object plane. In the case of such a meniscus whose centers of curvature are situated on the image side, the exit side facing the image preferably has a relatively strong curvature whose radius can, for example, be smaller than 50% of the overall length of the projection objective.

In addition to emerging from the claims, the foregoing and further features also emerge from the description and the drawing, it being possible for each of the individual features to be implemented alone or multiply in the form of subcombinations for one embodiment of the invention and in other fields, and to constitute advantageous designs which are patentable on their own merit.

FIG. 1 is a lens section through an embodiment of a refractive projection objective that is designed for an operating wavelength of 193 nm.

In the following description of the preferred embodiment, the term "optical axis" denotes a straight line through the centers of curvature of the spherical optical components or through the axes of symmetry of aspheric elements. Directions and distances are described as on the image side, on the wafer side or toward the image when they are directed in the direction of the image plane or the substrate which is located there and is to be exposed, and as on the object side, on the reticle side or toward the object when they are directed toward the object with reference to the optical axis. In the examples, the object is a mask (reticle) with the pattern of an integrated circuit, but another pattern, for example a grating, can also be involved. In the examples, the image is formed on a wafer serving as substrate and provided with a photoresist layer, but other substrates are also possible, for

example elements for liquid crystal displays or substrates for optical gratings. The focal lengths specified are focal lengths with respect to air.

FIG. 1 shows a characteristic design of an inventive, purely refractive reduction objective 1. It serves the purpose of projecting a pattern, arranged in an object plane 2, of a reticle or the like into an image plane 3, conjugate with the object plane, to a reduced scale without instances of obscuration or shading in the image field, for example to the scale of 5:1. This is a rotational symmetrical single-waist system whose lenses are arranged along an optical axis 4, which is perpendicular to the object plane and image plane, and form an object-side belly 6, an image-side belly 8 and a waist 7 situated therebetween. A small auxiliary waist 9 close in front of the system diaphragm 5 is formed inside the second belly 8. The system diaphragm 5 is situated in the region, near the image, of large beam diameters.

The lenses can be subdivided into a plurality of consecutive lens groups with specific properties and functions. A first lens group LG1, following the object plane 2, at the input of the projection objective has a negative refractive power overall, and serves to expand the beam coming from the object field. A subsequent second lens group LG2 with a positive refractive power overall forms the first belly 6 and recombines the beam in front of the following waist 7. A third lens group LG3 with a negative refractive power is located in the region of the waist 7. The said third lens group is followed by a lens group 4, consisting of positive meniscus lenses, with a positive refractive power, which is followed by a fifth lens group LG5, consisting of negative meniscus lenses, with a negative refractive power. The subsequent lens group LG6 with a positive refractive power guides the radiation to the system diaphragm 5. Situated behind the latter is the seventh and last lens group LG7, which consists of three individual lenses with a positive refractive power and makes the main contribution to the production of the very high image-side numerical aperture of  $NA=1.1$ . It holds for the latter that:  $NA=n \cdot \sin u'$ ,  $n$  being the refractive index of the last optical medium (for example an immersion fluid) and  $u'$  being half the image-side aperture angle.

The first lens group LG1 opens with three negative lenses 11, 12, 13 which comprise, in this order, a biconcave negative lens 11 with an aspheric entry side, a negative meniscus lens 12 with an image-side center of curvature and an aspheric entry side, and a negative meniscus lens 13 with an object-side center of curvature and an aspheric exit side. Given the high input aperture of 0.2125



present, at least one aspheric surface should be provided on at least one of the first two lenses 11, 12, in order to limit the production of aberrations in this region. As in the present example, a (at least one) aspheric surface is preferably provided at each of the three negative lenses.

With a slight air separation behind the last lens 13 of the first lens group LG1, the second lens group LG2 has a positive meniscus lens 14 with an object-side center of curvature, a further positive meniscus lens 15 with an object-side center of curvature, a positive meniscus lens 16 with an image-side center of curvature, a further positive lens 17 with a virtually flat exit side, a positive meniscus lens 18 with an image-side center of curvature of the surfaces, and a meniscus lens 20 of low refractive power and of the same direction of curvature with virtually parallel lens surfaces. The only weakly curved entrance side of the lens 15, the likewise only weakly curved exit side of the lens 17 and the exit side of the last meniscus lens 20 are aspheric. This second lens group LG2 constitutes the first belly 6 of the objective. A particular feature is formed by the positive meniscus lens 16 which is arranged at the greatest diameter and whose centers of curvature are situated on the image side. The radius of the exit surface of this lens 16 has a value that is smaller than half the object/image spacing. This lens group serves the purpose, chiefly, of the Petzval correction, the distortion and telecentering correction and the image field correction outside the main sections.

The third lens group LG3 consists of three negative meniscus lenses 20, 21, 22 whose boundary surfaces are spherical in each case. This lens group bears the main load of the correction of the image field curvature and is fashioned such that despite the high system aperture of  $NA=1.1$  the maximum incidence angles of the beams striking the lens surfaces are below approximately 60[deg.] or the sine of the incidence angles is below 0.85 in each case. The first negative lens 20 of the third group is preferably a strongly biconcave lens such that the main waist 7 opens with strongly curved surfaces.

The fourth lens group LG4, following the waist 7, consists of two positive meniscus lenses 24, 25 with object-side concave surfaces, the exit side of the input-side meniscus lens 23 being aspheric, and the remaining surfaces being spherical. In the case of other embodiments, it is also possible to provide at this point only a single positive meniscus of appropriate curvature.



The subsequent fifth lens group LG5 likewise has two meniscus lenses 25, 26, but these each have a negative refractive power, and the concave surfaces are directed toward the image field 3. If appropriate, it is also possible to provide at this point only one negative meniscus whose center of curvature is situated on the wafer side. It has been found to be advantageous for the negative refractive power of the object-side negative meniscus 25 to be at least 30% stronger than that of the following meniscus 26. Such a group with at least one negative meniscus is a central correction element for the functioning of the single-waist system, in order to correct off-axis aberrations elegantly. In particular, this permits a compact design with relatively small lens diameters.

It is particularly important, furthermore, that a change in the position of the centers of curvature between meniscuses of the fourth lens group LG4 and the fifth lens group LG5 takes place in the input region, following the waist 7, of the second belly 8. It is possible to achieve thereby that inclined spherical aberration in the case of an extreme aperture can be smoothed.

The sixth lens group LG6 begins with a sequence of positive lenses 27, 28, 29, 30 in which case it has proved to be advantageous when at least two of these lenses are biconvex lenses, such as the immediately consecutive lenses 27, 28, each having spherical lens surfaces, at the input of the sixth lens group. In the example, a weakly positive meniscus lens 29 with an image-side concave surface follows the biconvex lenses 27, 28.

Present at the output of the sixth lens group LG6 directly in front of the system diaphragm 5 is a meniscus group with two meniscus lenses 30, 31 whose centers of curvature are all situated on the reticle side or object side. Particularly in the case of objectives with a low aperture, it would also be possible to provide at this location only one appropriate meniscus lens with positive or negative refractive power. The two-fold group 30, 31 shown is preferred for the very high aperture of  $NA \geq 1$  shown, the input-side meniscus lens 30 preferably having a positive refractive power, and the meniscus lens 31 following therefrom preferably having a negative refractive power. The negative refractive power thereof is advantageously so high that a slight constriction in the form of an auxiliary waist 9 is produced in the beam path. It is possible thereby to achieve the possibility of balancing out the inclined spherical tangential and inclined spherical sagittal approaches.

The seventh lens group LG7, arranged between the system diaphragm 5 and image plane 3, constitutes a further special feature of inventive projection objectives. Special measures are required particularly in this region, for the purpose of managing the superficial loading of the optical surfaces overall such that it is possible to achieve imaging with low aberration in conjunction with adequate transmission of the entire objective. It should be ensured for this purpose between the diaphragm 5 and wafer 3 that no apertures are produced in the component which result in an aperture near 1 as a component in respect to air. A substantial contribution to achievement of this aim is made here by virtue of the fact that a planoconvex lens 34 with spherical entrance surface and flat exit surface is arranged as last optical element directly in front of the image plane 3. Said lens is so thick that its diameter is more than half the diameter of the system diaphragm 5, ideally even more than 60% or 70% of this value. The aim is as long a radius as possible with a high opening of this, preferably spherical, entrance surface. It is necessary to target this long radius since the field loading of the entrance surface is thereby diminished. The longer the radius, the smaller the relative field, and thus the smaller the induced field aberrations. The entrance surface can also be aspheric.

The planoconvex group near the image, which is formed here by a single, unipartite lens element 34, has a refractive action. This may be seen from the fact that the entrance surface is not arranged concentrically with the middle of the image field, because the radius differs from the lens thickness. Preference is given to axially elongated lenses of this type, in the case of which the center of curvature of the entrance surface is situated inside the lens. Planoconvex groups or planoconvex lenses of this type therefore differ substantially from hemispherical planoconvex lenses, in the case of which the radius corresponds substantially to their thickness, and which are used, for example, in microscopy in order to improve the launching of the light into the microscope objective, and are themselves precluded from having refracting properties.

In the case of the embodiment shown, two very large positive lenses 32, 33 that provide the essential contribution to the system refractive power are placed upstream of the planoconvex meniscus 34. Because they are seated right behind the diaphragm in the region of large beam diameters, the relative field loading is minimized here as well. This example therefore shows a very simple and efficient design of a lithographic objective suitable for very high apertures with reference to

the region behind the system diaphragm. The planoconvex meniscus 34 picks up with a low refractive power the convergent pencil, coming from the positive lenses 32, 33 in air or in another suitable gaseous medium inside the projection objective and passes it on into the photosensitive layer of the substrate. Consequently, embodiments for which exclusively positive lenses are present between the diaphragm 5 and wafer are advantageous, although it is also further possible for one or more plane-parallel plates to be provided. Again, as low as possible a number of optical surfaces is advantageous in this region, since each surface causes reflection losses even in the case of good antireflective coating. The number of lenses should be four or less here, it being optionally possible, once again, for plane-parallel plates to be provided.

Further advantageous measures consist in that surfaces with aspherics should be provided in the region of the diaphragm, in particular right behind said diaphragm. Said surfaces can be opposite one another in a lens as is the case with the biconvex, double aspheric positive lens 32. It is advantageous, moreover, when an aspheric surface is provided both immediately in front of the diaphragm plane and immediately therebehind. In the example, these are the exit surface of the negative meniscus 31 and the entrance surface of the biconvex positive lens 32. In the case of the example, the high number of aspheres in the region around the system diaphragm 5 serves chiefly for correcting the spherical aberration (Zernike coefficients  $Z_9$ ,  $Z_{16}$ ,  $Z_{25}$ ,  $Z_{26}$ ,  $Z_{36}$ ,  $Z_{49}$ ), as well as setting the isoplanatism, that is to say for correcting the magnification ratio affected by aperture.

The specification of the design is summarized in a known way in tabular form in Table 1. Here, column 1 gives the number of a refracting surface, or one distinguished in another way, column 2 gives the radius  $r$  of the surface (in mm), column 3 gives the distance  $d$ , denoted as thickness, of the surface from the following surface (in mm), column 4 gives the material of the optical components, and column 5 gives the refractive index of the material of the component, which follows the entry surface. The useful, free radii or half the free diameter of the lenses (in mm) are specified in column 6.

In the case of the embodiment, thirteen of the surfaces, specifically the surfaces 2, 4, 7, 10, 15, 19, 27, 32, 41, 43, 45, 46 and 48 are aspheric. Table 2 specifies the corresponding aspheric data, the aspheric surfaces being calculated using the following rule:

$$p(h)=[((1/r)h^2)/(1+\text{SQRT}(1-(1+K)(1/r)^2 h^2))]+C1*h^4 +C2*h^6 + \dots$$

Here, the reciprocal (1/r) of the radius specifies the surface curvature, and h the distance of a surface point from the optical axis. Consequently, p(h) gives the so-called sagitta, that is to say the distance of the surface point from the surface apex in the z direction, that is to say in the direction of the optical axis. The constants K, C1, C2, . . . are reproduced in Table 2.

The optical system 1, which can be reproduced with the aid of these data, is designed for an operating wavelength of approximately 193 nm, for which the synthetic quartz glass used for all the lenses has a refractive index  $n=1.56029$ . The image-side numerical aperture is 1.1. The objective has an overall length (distance between image plane and object plane) of 1297 mm. A photoconductance (product of the numerical aperture and image size) of 24.1 mm results, given an image size of 22 mm. The image-side working distance, that is to say the distance between the plane exit surface of the last optical element 34 and the image plane 3 is not itemized separately. It can be 20 to 50 nm, for example. The projection objective is therefore suitable for near-field lithography.

If the aim is rather to conduct immersion lithography instead of near-field lithography, this is easily possible through slight modifications. If an immersion medium has substantially the same refractive index as the last optical element of the objective (which consists, for example, of glass or crystal), to attain a larger distance to the image plane the solid is shortened and the larger interspace produced is filled by the immersion medium, for example de-ionized water. If the refractive index of the immersion medium deviates from that of the last optical component, the two thicknesses are tuned to one another as well as possible. If appropriate, it is advantageous to have a spherical subsequent correction that can be carried out, for example, by adjusting air spacings with the aid of suitable manipulators on one or more lens elements. It can also be advantageous for the design represented here by way of example to be slightly modified.

A projection objective is thereby created which operates at an operating wavelength of 193 nm, can be produced with the aid of conventional techniques for the lens production and coatings, and permits a resolution of structures far below 100 nm. Many design measures that are useful alone or in combination, and

the novel design of the region between the diaphragm 5 and the image plane 3, permit a total aperture of 1.1 in the medium to be exposed, in conjunction with relatively low superficial loadings of the optical surfaces within the projection objective. Structural widths in the region of 50 nm can be outstandingly represented despite the gigantic aperture of 1.1. This becomes clear from low values of transverse aberration and a wavefront RMS value of 2.6 m[ $\lambda$ ] at 193 nm over all image heights.

The example presented offers further possibilities of development in the direction of higher aperture and/or a lesser number of interfaces. For example, a few lenses neighboring one another in pairs can be combined to form a single lens in each case, in order in this way to reduce the number of interfaces by two in each case. For example, the lenses 23 and 24, the lenses 18 and 19, the lenses 13 and 14, the lenses 26 and 27 and/or the lenses 11 and 12 can be combined in each case to form one lens. Aspheric surfaces are to be installed or to be modified in this case, if appropriate. A combination of lenses is advantageous, in particular, for shorter wavelengths, for example of 157 nm, in which case problems can arise with the coating and the surface roughness of lens surfaces. If appropriate, a further positive lens can be advantageous behind the diaphragm given very high apertures in order, in the event of increases in aperture, to introduce as few new aberrations affected by aperture as possible.

The advantages of the invention are useful not only given purely refractive projection objectives, but also given catadioptric projection objectives, in particular those which operate with geometric or physical (polarization-selective) beam splitting. Special features occur chiefly for design and function in the region of the system diaphragm near the image and between said diaphragm and the image plane. The upstream objective parts, which comprise at least one projecting mirror in the case of catadioptric projection objectives, should provide at least one overcorrection of the longitudinal chromatic aberration, in order to compensate the corresponding undercorrection of the last lens group. A Petzval overcorrection should preferably be provided in order to provide a margin for the Petzval undercorrection of the last lens group. Since, in a way similar to an individual positive lens, said last lens group is undercorrected with reference to spherical aberration, the upstream objective part should work overall in a spherically overcorrecting fashion. The measures for attaining these optical characteristics are



known to the person skilled in the art and are therefore not explained in more detail here.

TABLE 1

SURFACE	RADII	THICKNESSES	GLASSES	REFRACTIVE INDEX 193.304 nm	½ FREE DIAMETER
0	0.000000000	27.200000000	L710	0.99998200	45.607
1	0.000000000	5.918415780	L710	0.99998200	53.333
2	-856.520151429AS	8.513391670	SIO2HL	1.56028895	54.216
3	221.390186129	4.416825103	N2	1.00000320	58.807
4	388.002080060AS	7.500000000	SIO2HL	1.56028895	62.597
5	145.662170604	35.066769313	N2	1.00000320	64.799
6	-156.528478897	13.825053459	SIO2HL	1.56028895	68.237
7	-569.268909317AS	1.048245321	N2	1.00000320	84.737
8	-685.623617269	46.805975671	SIO2HL	1.56028895	86.118
9	-204.957576367	0.709606715	N2	1.00000320	103.144
10	-880.911273998AS	54.777943597	SIO2HL	1.56028895	125.013
11	-248.526945989	1.683182576	N2	1.00000320	131.423
12	224.822351709	54.871581452	SIO2HL	1.56028695	156.309
13	512.337183722	33.734945339	N2	1.00000320	153.303
14	304.374483761	58.667551666	SIO2HL	1.56028895	146.757
15	-6287.676161070AS	0.700000000	N2	1.00000320	140.984
16	129.979785804	69.743588545	SIO2HL	1.56028895	112.463
17	138.594373293	2.395572054	N2	1.00000320	85.809
18	138.485177581	10.992090105	SIO2HL	1.56028895	84.654
19	162.930027134AS	45.897552290	N2	1.00000320	78.232
20	-186.365747641	7.500000000	SIO2HL	1.56028895	75.979
21	209.249850090	47.901412683	N2	1.00000320	70.469
22	-92.976145902	7.500000000	SIO2HL	1.56028895	70.319
23	3940.003552383	22.698881573	N2	1.00000320	84.285
24	-210.566279065	13.458540900	SIO2HL	1.56028895	86.301
25	-481.930608562	10.599713214	N2	1.00000320	96.309
26	-299.003037123	29.233512385	SIO2HL	1.56028895	100.896
27	-211.128540124AS	0.700000000	N2	1.00000320	111.974
28	-241.783293846	45.186608069	SIO2HL	1.56028895	113.068
29	-142.093795869	0.700000000	N2	1.00000320	118.747
30	373.228657636	15.000000000	SIO2HL	1.56028895	144.714
31	281.545559695	37.551434993	N2	1.00000320	144.973
32	2257.943358151AS	15.000000000	SIO2HL	1.56028895	146.555
33	942.886809577	9.018344987	N2	1.00000320	151.237
34	1839.757565259	41.221307008	SIO2HL	1.56028895	152.796
35	-572.892294825	0.700000000	N2	1.00000320	156.198
36	536.885209090	59.927790928	SIO2HL	1.56028895	168.303
37	-588.394317091	0.700000003	N2	1.00000320	168.532
38	600.944472100	32.859055286	SIO2HL	1.56028895	162.458
39	1435.651038119	39.540839130	N2	1.00000320	158.952
40	-542.595637794	21.000000000	SIO2HL	1.56028895	157.309
41	-421.356226662AS	28.605920520	N2	1.00000320	156.999
42	-253.952587228	15.000000000	SIO2HL	1.56028895	153.788
43	-804.677872363AS	32.000000000	N2	1.00000320	158.842
44	0.000000000	10.700000010	N2	1.00000320	162.250
45	439.828583479AS	60.615863511	SIO2HL	1.56028895	169.169
46	-554.126799640AS	0.854609370	N2	1.00000320	169.058
47	251.288231110	66.707994802	SIO2HL	1.56028895	152.022
48	-1261.158042833AS	0.700000000	N2	1.00000320	149.150
49	120.292681477	139.355322544	SIO2HL	1.56028895	99.158
50	0.000000000	0.000000000	SIO2HL	1.56028895	11.402
51	0.000000000	0.000000000		1.000000000	11.402



TABLE 2

SURFACE NO. 2		SURFACE NO. 27	
K	0.0000	K	0.0000
C1	-2.94971307e-008	C1	2.75008177e-008
C2	-5.57984348e-011	C2	-4.51696088e-013
C3	8.46982512e-015	C3	-5.50353634e-018
C4	5.00708078e-019	C4	-2.48871975e-022
C5	-3.78477968e-022	C5	-4.84285060e-026
C6	4.94732324e-026	C6	4.35721702e-030
C7	-2.07498764e-030	C7	-1.70355795e-034
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
SURFACE NO. 4		SURFACE NO. 32	
K	0.0000	K	0.0000
C1	2.26266925e-007	C1	4.61774725e-009
C2	4.12437333e-011	C2	-1.45428945e-013
C3	-8.13482251e-015	C3	5.33766031e-018
C4	-9.73333957e-019	C4	-1.05172907e-022
C5	5.21683282e-022	C5	1.13262775e-027
C6	-6.98262222e-026	C6	2.90828821e-032
C7	3.24713110e-030	C7	-9.47335184e-037
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
SURFACE NO. 7		SURFACE NO. 41	
K	0.0000	K	0.0000
C1	2.14406930e-008	C1	-1.74774919e-009
C2	4.01486796e-013	C2	3.60065638e-015
C3	-1.15749689e-016	C3	-6.33371869e-019
C4	-2.17404465e-020	C4	-2.58752868e-023
C5	4.76039865e-024	C5	-1.29026764e-027
C6	-4.04274950e-028	C6	4.06422380e-032
C7	2.26352156e-032	C7	-2.03413277e-036
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
SURFACE NO. 10		SURFACE NO. 43	
K	0.0000	K	0.0000
C1	4.04801375e-008	C1	-1.52776855e-009
C2	3.59502309e-013	C2	3.99966157e-014
C3	-4.82739756e-017	C3	-3.59152071e-019
C4	-2.12222071e-021	C4	-2.46490776e-023
C5	3.16153319e-025	C5	2.62578515e-028
C6	-1.24031349e-029	C6	9.94510225e-032
C7	1.72585585e-034	C7	-1.17559041e-036
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
SURFACE NO. 15		SURFACE NO. 45	
K	0.0000	K	0.0000
C1	1.77772008e-009	C1	-6.79036688e-009
C2	6.20555687e-014	C2	-4.98113790e-014
C3	1.17962639e-018	C3	2.59739233e-018
C4	-3.75710986e-023	C4	-5.22422066e-023
C5	8.23659263e-027	C5	1.38345858e-028
C6	-3.78043433e-031	C6	-9.60600374e-033
C7	5.28341681e-036	C7	-4.93449545e-037
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
SURFACE NO. 19		SURFACE NO. 46	
K	0.0000	K	0.0000
C1	1.12510953e-007	C1	-1.23311338e-009
C2	5.25382772e-012	C2	9.47803783e-014
C3	3.54985200e-016	C3	-6.59387651e-020
C4	2.17219317e-020	C4	-4.20864177e-023
C5	3.35596515e-024	C5	-4.65343524e-028
C6	-1.94149952e-028	C6	-7.27238546e-033
C7	4.47299373e-032	C7	5.62850375e-037
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000
SURFACE NO. 27		SURFACE NO. 48	
K	0.0000	K	0.0000
C1	2.75008177e-008	C1	2.98238360e-010
C2	-4.51696088e-013	C2	-6.63488568e-014
C3	-5.50353634e-018	C3	8.08884615e-018
C4	-2.48871975e-022	C4	-1.56191602e-022
C5	-4.84285060e-026	C5	-6.64400102e-029
C6	4.35721702e-030	C6	3.42882241e-032
C7	-1.70355795e-034	C7	-1.87278246e-037
C8	0.00000000e+000	C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000	C9	0.00000000e+000

### Claims

1. A projection objective for projecting a pattern arranged in the object plane of the projection objective into an image plane of the projection objective with the aid of ultraviolet light of a prescribed operating wavelength, the projection objective comprising:

a plurality of optical elements which are arranged along an optical axis; and  
a system diaphragm (5) arranged at a spacing in front of the image plane and having a diaphragm diameter;

the optical group with refractive power next to the image plane being a planoconvex group (34) having a substantially spherical entrance surface and a substantially flat exit surface; and

the planoconvex group (34) having a diameter that is at least 50% of the diaphragm diameter.

2. The projection objective as claimed in claim 1, wherein the planoconvex group (34) is formed by a single, preferably unipartite planoconvex lens.

3. The projection objective as claimed in claim 1 or 2, wherein only lenses (32, 33, 34) with positive refractive power, are arranged between the system diaphragm (5) and the image plane (3), if appropriate in combination with at least one plane-parallel plate.

4. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one biconvex positive lens, preferably two biconvex positive lenses (32, 33), is/are arranged between the system diaphragm (5) and the image plane (3), in particular between the system diaphragm and the planoconvex group (34).

5. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a last lens group (LG7) arranged between the system diaphragm (5) and image plane (3) has a maximum of four optical elements with refractive power, preferably only three lenses (32, 33, 34).

6. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a last lens group arranged between the system diaphragm (5) and image plane (3) has a focal length that is less than 20%, in particular less than 15% of the overall length of the projection objective.

7. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a spacing between the system diaphragm and the image plane (3) is less than 25% of the overall length and/or less than 95% of the diaphragm diameter.
8. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, configured as a purely refractive projection objective (1).
9. The projection objective as claimed in claim 7, configured as a single-waist system with a belly (6) near the object, a belly (8) near the image and a waist (7) therebetween.
10. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, designed for an operating wavelength of 193 nm.
11. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein all transparent optical elements are produced from the same material, in particular from synthetic silica glass.
12. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, having an image-side numerical aperture  $NA \geq 0.85$ , preferably  $NA \geq 1$ .
13. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein an image-side working distance is less than four times the operating wavelength, wherein the working distance is preferably smaller than the operating wavelength and, in particular, is smaller than half the operating wavelength.
14. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein the image field diameter is at least one of greater than 10 mm, in particular greater than 20 mm, and/or wherein the image field diameter is more than 1%, in particular more than 1.5% of the overall length of the projection objective, and/or more than 1%, in particular more than 5% of the largest lens diameter.
15. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one double aspheric lens (32), which is preferably configured as biconvex lens, is arranged between the system diaphragm (5) and image plane (3).

16. The projection objective as claimed in claim 1, wherein the last optical surface in front of the system diaphragm (5) and the first optical surface behind the system diaphragm are aspheric, preferably with curvatures facing away from the diaphragm.

17. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one meniscus lens (30, 31) with concave surfaces directed toward the object is arranged in a near zone in front of the system diaphragm (5), in particular directly in front of the system diaphragm.

18. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one meniscus group having at least two consecutive meniscus lenses (30, 31) with object-side concave surfaces is arranged in the near zone of the system diaphragm (5), in particular directly in front of the system diaphragm.

19. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a positive/negative meniscus group with two meniscus lenses (30, 31) whose lens surfaces are concave on the object side is arranged in the near zone in front of the system diaphragm (5).

20. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein owing to constriction of the beam diameter an auxiliary waist (9), preferably arranged in the near zone in front of the system diaphragm (5), is present between the waist (7) and the image plane (3).

21. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one meniscus lens (25, 26) with negative refractive power and with concave surfaces directed toward the image is arranged between the waist (7) and the system diaphragm (5).

22. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a meniscus group having at least two meniscus lenses (25, 26) with negative refractive power and concave surfaces directed toward the image is arranged between the waist (7) and the system diaphragm (5), wherein the refractive power of the object-side meniscus of this meniscus group is preferably at least 30% larger than the refractive power of a subsequent meniscus lens (26) of the meniscus group.

23. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one positive meniscus lens (23, 24) having an object-side concave surface is arranged between the waist (7) and the system diaphragm (5) in the vicinity of the waist.

24. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one meniscus lens (23, 24) with an object-side concave surface and, following thereupon, at least one meniscus lens (25, 26) with an image-side concave surface are arranged in this order between the waist (7) and the system diaphragm (5), wherein the at least one meniscus lens with an object-side concave surface has positive refractive power and the at least one meniscus lens with an image-side concave surface has negative refractive power.

25. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a negative group with at least two negative lenses (20, 21, 22) is arranged in the region of the waist (7), wherein the negative group preferably comprises at least three consecutive negative lenses.

26. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein a first lens group (LG1) following the object plane (2) has at least two, preferably three or more negative lenses (11, 12, 13).

27. The projection objective as claimed in claim 26, wherein at least one of the first four optical surfaces following the object plane is aspheric in the first lens group, wherein in the first lens group at least two optical surfaces are preferably aspherical.

28. The projection objective as claimed in any of the preceding claims, wherein at least one meniscus lens (16) with positive refractive power and an image-side concave surface are arranged in the region of large beam diameters in the near zone of the object plane (2).

29. The projection objective as claimed in claim 28, wherein the convex surface, directed toward the image plane, of the meniscus lens (16) has a radius that is smaller than 50% of the overall length of the projection objective.

30. A projection objective for obscuration-free projection of a pattern arranged in the object plane of the projection objective into an image plane of the projection objective with the aid of ultraviolet light of a prescribed operating wavelength, the projection objective comprising:

a multiplicity of optical elements which are arranged along an optical axis;  
and

a system diaphragm (5) arranged at a spacing in front of the image plane (3);

wherein only lenses (32, 33, 34) with positive refractive power are arranged between the system diaphragm (5) and the image plane (3), if appropriate in addition to at least one plane-parallel plate.

31. A projection objective for projecting a pattern arranged in the object plane of the projection objective into an image plane of the projection objective with the aid of ultraviolet light of a prescribed operating wavelength, the projection objective comprising:

a multiplicity of optical elements which are arranged along an optical axis;  
and

a system diaphragm (5) arranged at a spacing in front of the image plane (3);

wherein at least one meniscus group having at least two consecutive meniscus lenses (30, 31) with object-side concave surfaces are arranged directly in front of the system diaphragm.

32. The projection objective as claimed in claim 31, wherein the meniscus group is a positive/negative meniscus group having two meniscus lenses (30, 31) whose lens surfaces are concave on the object side.